

Instituto Tecnológico de Costa Rica

Escuela de Ingeniería Electrónica



Diseño de control automatizado de un sistema de reducción de estrés calórico en una lechería, mediante enfriamiento por ventilación forzada y aspersión de agua

Informe de Proyecto de Graduación para optar por el título de Ingeniero en Electrónica con el grado académico de Licenciatura

Jose Gabino Venegas Rodríguez

San Carlos, agosto de 2020

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA

ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA

PROYECTO DE GRADUACIÓN

ACTA DE APROBACIÓN

**Defensa de Proyecto de Graduación
Requisito para optar por el título de Ingeniero en Electrónica
Grado Académico de Licenciatura
Instituto Tecnológico de Costa Rica**

El Tribunal Evaluador aprueba la defensa del proyecto de graduación denominado “Diseño de control automatizado de un sistema de reducción de estrés calórico en una lechería, mediante enfriamiento por ventilación forzada y aspersion de agua”, realizado por el señor Jose Gabino Venegas Rodríguez y, hace constar que cumple con las normas establecidas por la Escuela de Ingeniería Electrónica del Instituto Tecnológico de Costa Rica.

Miembros del Tribunal Evaluador

Ing. Pablo Cesar Rodríguez Vargas
Profesor lector

Ing. Luis Miguel Esquivel Sancho
Profesor asesor

San Carlos, 17 de agosto del 2020

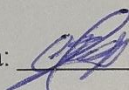
Declaración de autenticidad

Declaro que el presente Proyecto de Graduación ha sido realizado enteramente por mi persona, utilizando y aplicando literatura referente al tema e introduciendo conocimientos propios.

En los casos en que he utilizado bibliografía, he procedido a indicar las fuentes mediante las respectivas citas bibliográficas.

En consecuencia, asumo la responsabilidad total por el trabajo de graduación realizado y por el contenido del correspondiente informe final.

San Carlos, 17-08-2020

Firma:  _____

Jose Gabino Venegas Rodríguez

Céd: 207570646

Resumen

El proyecto realizado se trata del diseño del plano eléctrico de un sistema de enfriamiento presupuestado para una lechería ubicada en la Fortuna de San Carlos. El cual será probado con un prototipo en Arduino que simule su rendimiento.

El propósito de este sistema es el de mitigar los efectos del estrés calórico en los bovinos, mediante la utilización de ventiladores y aspersores de agua. En diversos estudios este mecanismo de enfriamiento ha obtenido buenos resultados sobre su impacto, como lo son el aumento de la producción lechera y una mayor efectividad de la tasa de gestación en vacas.

Palabras clave: diseño, estrés calórico, enfriamiento, plano eléctrico, establo.

Abstract

The Project is about the design of an electric plane of a cooling system budgeted for a dairy located at Fortuna, San Carlos. Which will be tested with an Arduino's prototype to simulate his performance.

Intention of this cooling system is to mitigate the caloric stress effects in bovines, through the use of ventilators and water diffusers. In different researches the cooling mechanism has get good results about its impact, like a rise in dairy production and more effectivity in cow's pregnancy.

Keywords: design, caloric stress, cooling, electric plane, stable.

Dedicatoria

A Dios, que me permitió alcanzar este importante logro en mi vida.

A mis padres, Maritza Rodríguez y Gabino Venegas, y a mi familia, por su amor y el apoyo incondicional que me brindaron para llegar a la meta.

A mi tía Alice Venegas y su esposo, Rafael Méndez, que me ayudaron tanto al acogerme en su casa durante mis estudios.

Agradecimiento

Agradezco a Dios, a mi familia, a mis amigos de la universidad y a mis profesores que tanto me enseñaron en el transcurso de mi carrera universitaria.

ÍNDICE GENERAL

Capítulo 1: Introducción	16
1.1 Problema existente e importancia de su solución	16
1.2 Solución seleccionada	16
Capítulo 2: Meta y objetivos.....	19
2.1 Meta.....	19
2.2 Objetivo general.....	19
2.3 Objetivos específicos.....	19
Capítulo 3: Marco Teórico.....	20
3.1 Descripción del sistema o proceso a mejorar	20
3.1.1 Estrés calórico.....	20
3.1.2 Ventiladores.....	21
3.1.3 Controlador	22
3.1.4 Sensores de temperatura.....	24
3.1.4.1 Termistores	24
3.1.4.2 Termopar.....	25
3.1.4.3 Sensor de temperatura resistivo	26
3.1.5 Sensores de humedad	27
3.1.6 Programación de PLC	28
3.1.7 Contactor	30

3.1.8	Disyuntor o breaker	30
3.1.9	Guardamotor	31
3.2	Antecedentes bibliográficos	32
3.3	Descripción de los principales principios físicos y electrónicos relacionados con la solución	32
3.3.1	Mecanismos de pérdida de calor	32
3.3.2	Elementos mecánicos y eléctricos.....	33
3.3.3	Programación del control automatizado	34
Capítulo 4: Procedimiento metodológico		35
4.1	Reconocimiento y definición del problema.....	35
4.2	Obtención y análisis de información.....	35
4.3	Evaluación de las alternativas y síntesis de una solución	36
4.4	Implementación de una solución	37
4.5	Reevaluación y diseño.....	37
Capítulo 5: Descripción detallada de la solución.....		38
5.1	Análisis de soluciones y solución final	38
5.1.1	Módulo de control.....	40
5.1.2	Cableado	42
5.1.3	Sensor de temperatura	43
5.1.4	Sensor de humedad.....	45
5.2	Módulo de protección.....	46

5.2.1	Contactador	46
5.2.2	Disyuntor	47
5.2.3	Guardamotor	49
5.3	Descripción del hardware	50
5.3.1	Módulo de protección.....	51
5.3.2	Módulo de control.....	54
5.3.2.1	PLC.....	56
5.3.2.2	Fuente de alimentación Power 24V	56
5.3.2.3	Módulo de entradas analógicas AM 2.....	57
5.3.2.4	Sensor de humedad.....	57
5.3.2.5	Sensor de temperatura	58
5.3.2.6	Ventilador	58
5.4	Descripción del software	59
Capítulo 6: Análisis de resultados.....		62
6.1	Resultados.....	62
6.1.1	Estudio de prefactibilidad del proyecto.....	68
6.1.1.1	Ingresos obtenidos por la venta de leche	68
6.1.1.2	Costos de la factura eléctrica	69
6.1.1.3	Costos de la factura de agua	70
6.1.1.4	Valor de la inversión del proyecto	71
6.1.1.5	Resultados del estudio de prefactibilidad	72

6.2	Análisis de resultados.....	74
Capítulo 7: Conclusiones y recomendaciones		76
7.1	Conclusiones.....	76
7.2	Recomendaciones.....	76
Bibliografía		77
Apéndices y anexos		82
A.1	Logo 12/24RC.....	82
A.2	Fuente de alimentación Logo Power 24V	85
A.3	Módulo de entradas analógicas Logo AM 2.....	86
A.4	Contactador TeSys-K LC1K06015B7 de Schneider	87
A.5	Guardamotor ABB MS132-16T.....	89
A.6	Disyuntor ABB S202-K30.....	92
A.7	Cotizaciones de productos en Siesa	95
A.8	Prototipo implementado	97
A.9	Código fuente del programa diseñado en Arduino	98
A.10	Fotografías del establo considerado en el proyecto	99
A.11	Panel eléctrico del proyecto.....	101
A.12	Esquemático del sistema de enfriamiento.....	102

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1	Diagrama de bloques del sistema	18
Figura 3.1	Ventilador de 1 hp marca Weg. Foto propia.	21
Figura 3.2	Diagrama de LOGO! 12/24RC. [5].....	23
Figura 3.3	Diagrama de módulo LOGO! AM 2. [5].....	23
Figura 3.4	Diagrama de módulo LOGO! AM 2 PT100. [5].....	24
Figura 3.5	Termistor NTC. [7].....	25
Figura 3.6	Termopar tipo K.	26
Figura 3.7	Configuración del RTD. [7].....	27
Figura 3.8	Sensor de humedad relativa.	27
Figura 3.9	Diagrama de escalera.....	29
Figura 3.10	Diagrama de bloques funcionales.....	29
Figura 3.11	Contactador Schneider.....	30
Figura 3.12	Disyuntor de 2 polos ABB.	31
Figura 3.13	Guardamotor Sirius de Siemens.	31
Figura 5.1	Plano eléctrico del sistema de enfriamiento automatizado.	39
Figura 5.2	Vista lateral del establo.....	39
Figura 5.3	Vista frontal del establo.	40
Figura 5.4	Diagrama del gabinete.	51
Figura 5.5	Módulo de protección.....	51

Figura 5.6	Esquemático del módulo de protección de los motores.....	52
Figura 5.7	Disyuntor ABB S202-K10.	53
Figura 5.8	Contactador Schneider LC1K0601B7.....	53
Figura 5.9	Guardamotor ABB MS132-6.3.	54
Figura 5.10	Módulo Siemens Power 24V.....	56
Figura 5.11	Módulo de entradas analógicas AM 2.	57
Figura 5.12	Gráfico de temperatura vs hora del día en la Fortuna, San Carlos.	58
Figura 5.13	Ventilador K6E71K0 de la marca Multifan [22].....	59
Figura 5.14	Diagrama de flujo del sistema de control.....	60
Figura 6.1	Circuito de control de la simulación del sistema de enfriamiento.	62
Figura 6.2	Circuito de fuerza de la simulación del sistema de enfriamiento.....	63
Figura 6.3	Diagrama de bloques lógicos de la simulación.	64
Figura 6.4	Diagrama eléctrico del prototipo.	65
Figura 6.5	Medición de referencia de la humedad relativa.	65
Figura 6.6	Medición de referencia de la temperatura.....	66
Figura 6.7	Medición de humedad relativa al dispersar agua con atomizador.....	66
Figura 6.8	Medición de temperatura al dispersar agua con un atomizador.	66
Figura 6.9	Cálculo de ITH al rociar agua con un atomizador.....	67
Figura 6.10	Medición de humedad relativa al aplicar ventilación forzada.....	67
Figura 6.11	Medición de temperatura al aplicar ventilación forzada.....	67
Figura 6.12	Cálculo de ITH al emplear la ventilación forzada.....	68

Figura A.1	Vista superior del prototipo del proyecto. Foto propia.	97
Figura A.2	Vista lateral del prototipo del proyecto. Foto propia.	97
Figura A.3	Entrada del establo. Foto propia.	99
Figura A.4	Cubículos del establo. Foto propia.	99
Figura A.5	Vista panorámica del establo. Foto propia.	100
Figura A.6	Plano eléctrico con la estructura del gabinete.	101
Figura A.7	Esquemático del sistema de enfriamiento.	102

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 3.1	Estrés calórico en vacas lecheras según el ITH.	21
Tabla 3.2	Datos técnicos del ventilador de la marca Weg.	22
Tabla 5.1	Comparación de las características de distintos relés inteligentes.	40
Tabla 5.2	Matriz de ponderación de las alternativas de relés inteligentes.	41
Tabla 5.3	Comparación de las características de las diferentes opciones de cable.	42
Tabla 5.4	Matriz de ponderación de las alternativas de cables.	43
Tabla 5.5	Comparación de las características de distintos sensores de temperatura.	44
Tabla 5.6	Matriz de ponderación de los distintos sensores de temperatura.	44
Tabla 5.7	Comparación de las características de distintos sensores de humedad.	45
Tabla 5.8	Matriz de ponderación de los distintos sensores de humedad.	45
Tabla 5.9	Comparación de las características de las alternativas de contactores.	46
Tabla 5.10	Matriz de ponderación de los distintos contactores.	47
Tabla 5.11	Comparación de las características de las alternativas de disyuntores.	48
Tabla 5.12	Matriz de ponderación de los distintos disyuntores.	48
Tabla 5.13	Comparación de las características de las alternativas de guardamotores. ...	49
Tabla 5.14	Matriz de ponderación de los distintos guardamotores.	49
Tabla 6.1	Análisis de las ganancias proyectadas con el sistema de enfriamiento.	69
Tabla 6.2	Evaluación del gasto mensual por consumo eléctrico del sistema.	70
Tabla 6.3	Evaluación del gasto mensual por consumo de agua.	71

Tabla 6.4	Cotización del sistema automatizado de enfriamiento.....	71
Tabla 6.5	Análisis de VAN del proyecto en 5 años plazo.	73
Tabla A.1.1	Datos técnicos del Logo 12/24RC. [5]	82
Tabla A.2.1	Datos técnicos de fuente Power 24V. [5]	85
Tabla A.3.1	Datos técnicos del módulo AM 2. [5]	86

Capítulo 1: Introducción

A continuación, se presenta una explicación del problema que motivó el proyecto, el contexto en el cual se encuentra y la solución por la que se optó para lograr los resultados deseados. El enfoque dado en el proyecto es el de diseño del sistema que se puede aplicar en un proyecto posterior para comprobar su efectividad.

1.1 Problema existente e importancia de su solución

En las zonas tropicales, como lo es Costa Rica, las vacas lecheras tienen una menor producción de leche a causa del estrés calórico ocasionado por temperaturas elevadas y humedad relativa alta. Esta situación se agrava por el progresivo calentamiento global debido al efecto invernadero que se ha hecho más evidente en las últimas décadas, lo que muestra que hay que tomar medidas lo más pronto posible para reducir su afectación en la producción alimentaria.

Debido a que San Carlos es una importante región productora de leche y además es una zona donde, como se afirma en [1], se presenta una temperatura media anual de 26 °C en las partes bajas. Por lo tanto, esta zona es afectada considerablemente por el estrés calórico de los bovinos lecheros, con la disminución de la producción de leche.

Está claro que los ganaderos desean aumentar sus ganancias económicas, por lo que si se logra el incremento la producción de leche se beneficiaría, no solo los ingresos de los ganaderos del país, sino también la economía de la región donde se encuentran.

Aunque haya lecherías que cuenten con ventiladores, si se diseña un sistema automatizado adecuado a las instalaciones de descanso de las vacas, se aumenta la producción lechera de una manera eficiente al disminuir gastos en la factura eléctrica al activar los ventiladores solo cuando se requiera.

Por lo tanto, es recomendable el desarrollo de un sistema automatizado para el enfriamiento del ganado, para evitar que sean afectadas por el estrés calórico en las zonas cálidas que presentan las condiciones ambientales que lo ocasionan.

1.2 Solución seleccionada

Los requerimientos de la empresa que consultó por la solución son:

- Realizar el control del sistema de enfriamiento mediante un controlador automatizado (PLC)
- Monitorear las condiciones ambientales de temperatura y humedad, para detectar cuando se puede producir el estrés calórico.

- Incluir los ventiladores en el sistema para su activación cuando las condiciones ambientales causen el estrés calórico.
- Contar con aspersores de agua para activarlos cuando el ITH alcance un valor superior a 74.

La primera propuesta del proyecto fue el desarrollo de una placa PCB que tendría un PIC integrado para controlar las entradas y salidas del sistema. Primero se realizaron pruebas de diseño con un software de modelado de PCB, llamado “Sprint Layout 6.0” que luego se exportaba al programa Flat CAM para crear un archivo de formato NC que describe las pistas y las perforaciones de la placa, el cual se utiliza para dirigir las coordenadas que debe seguir la fresadora.

Después se realizó la evaluación de los criterios para la elección de un PIC que ejecutara las tareas del sistema de forma adecuada, es decir, requería como mínimo poder recolectar datos de dos sensores de forma analógica, además debía poder controlar dos salidas, una para el ventilador y otra para la válvula de solenoide que se activa para permitir el paso del agua a los aspersores.

Ya se habían logrado avances en relación al diseño de esta alternativa de solución, luego en una conversación con Fabio Cedeño, el dueño de la lechería, se aclaró que en realidad lo que deseaba era la implementación de un sistema de control mediante el uso de PLC, debido a que esos dispositivos son robustos y confiables en la automatización de sistemas. Por lo que se procedió a realizar un cambio en la línea de proyecto para establecerlo como el desarrollo e implementación de un sistema de control automatizado.

En ese sentido se inició con la búsqueda de la documentación sobre el diseño de planos eléctricos con base en la normativa nacional de instalaciones eléctricas, que está basada en la NFPA-70. Se realizó un diseño con el programa Solidworks Electrical, pero con el motivo de facilitar la tarea de diseñar se realizó un cambio a Proficad, el cual cuenta con herramientas que permiten elaborar el plano eléctrico del establo de manera simple, ya que, por su consistencia de tamaño, son más fáciles de manejar en el desarrollo del plano.

También se obtuvo una cotización para proceder con la compra de los componentes necesarios para el arranque de la instalación del sistema, la cual se le informó a Fabio, pero no se obtuvo respuesta del propietario de lechería, luego se le enviaron otros mensajes para conocer su intención con este proyecto, pero tampoco fueron respondidos. Entonces se optó que el proyecto tuviera un enfoque de diseño.

Además, se planteó realizar un prototipo con arduino para simular el comportamiento del sistema del control con los cambios en las condiciones de temperatura y humedad del entorno, el cual debe realizar la activación del sistema de enfriamiento si se cumplen las condiciones de estrés calórico.

Adicionalmente se realizó la simulación del PLC en CADe Simu, un programa para realizar diagramas eléctricos y para luego simular su funcionamiento. Se programó el PLC de la simulación mediante el diagrama de bloques lógicos, debido a que es

más intuitivo para determinar las condiciones necesarias en el sistema para ejecutar un algoritmo de tareas repetitivas de encendido del ventilador y los aspersores de manera secuencial. Además, por la similitud del tamaño de los símbolos del diagrama, se convierte en la opción adecuada para realizar el diagrama eléctrico del sistema de enfriamiento.

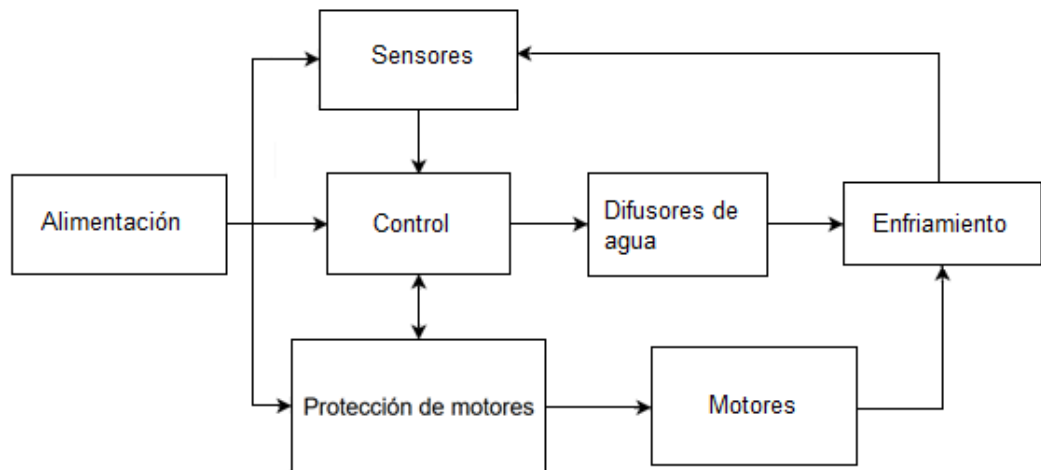


Figura 1.1 Diagrama de bloques del sistema de enfriamiento.
Fuente: Elaboración propia.

En el diagrama de bloques de la figura 1.1, se muestra al bloque de alimentación en la entrada del sistema de enfriamiento. Este se encarga de brindar la potencia necesaria para el funcionamiento del sistema.

El bloque de control, debe evaluar las condiciones ambientales de temperatura y humedad relativa que obtiene de los sensores, para realizar el cálculo de ITH y determinar si es superior al valor aceptable. En caso de que sea así, se inicia con la activación del bloque de difusores de agua, en el que incluye una electroválvula, que permite el flujo de agua en la tubería para efectuar el rociado de agua sobre las vacas mediante las boquillas nebulizadoras.

También se realiza la activación de los motores mediante los contactores del bloque de protección, para iniciar con la ventilación forzada en el establo. El enfriamiento obtenido se estima con las mediciones de los sensores, lo cual se observa en la figura 1.1, como el lazo de realimentación hacia el módulo de control.

Capítulo 2: Meta y objetivos

2.1 Meta

- Desarrollar el modelo de un sistema de control automatizado que mitigue el efecto del estrés calórico del ganado en los establos.

Indicador: Prototipo de un sistema de control de enfriamiento que simule la función del sistema de control automatizado.

2.2 Objetivo general

- Diseñar el sistema eléctrico con control automatizado para un sistema de enfriamiento por ventilación forzada y dispersión de agua de un establo de ganado bovino lechero.

Indicador: Diseño del plano eléctrico del establo, la selección del equipo adecuado en función de sus características y la verificación del funcionamiento del algoritmo con un prototipo electrónico.

2.3 Objetivos específicos

- Diseñar el control eléctrico para el sistema de enfriamiento para la mitigación de los efectos del estrés calórico en vacas.

Indicador: Diseño del plano eléctrico del sistema de enfriamiento que esté acorde a la normativa nacional vigente.

- Implementar el algoritmo de automatización en un prototipo electrónico mediante la programación de un arduino y comprobar su funcionamiento.

Indicador: Implementación de un modelo que simule el funcionamiento del sistema de enfriamiento automatizado.

- Realizar un estudio de prefactibilidad del sistema de enfriamiento automatizado.

Indicador: Resultados del VAN, TIR, TMAR y el ROI para la evaluación de la rentabilidad económica prevista con el sistema de enfriamiento.

Capítulo 3: Marco Teórico

3.1 Descripción del sistema o proceso a mejorar

El sistema es un establo de ganado lechero, donde se llevan desde el potrero para alimentarlo con concentrado y para que se mantengan frescas antes de realizar el ordeño de la tarde. Este establo tiene una capacidad de 50 vacas en su máxima ocupación.

Luego del ordeño de la madrugada, el ganado se dirige al establo, donde permanece desde las 8:00 am hasta las 2:00 pm, después se conducen a la sala de ordeño. Al terminar de ordeñarlas se llevan a los repastos, donde permanecen hasta el siguiente día.

Debido a que se cuenta con poca ventilación natural en ese establo, el ganado no logra un enfriamiento adecuado en los días calurosos. Por lo que se requiere un sistema de ventilación forzada y aspersion, que logre una disminución de la temperatura en los bovinos.

Se deben aclarar los conceptos clave del proyecto para una adecuada interpretación del mismo.

3.1.1 Estrés calórico

El estrés calórico (EC) es un factor determinante para la producción lechera, y según se afirma en [2], “aparece cuando el organismo del animal no es capaz ni de bajar su temperatura corporal, ni de sobreponerse al calor existente”. Es decir, es un estado provocado por condiciones ambientales que influyen en el bienestar del ganado.

Se utiliza la fórmula del índice de temperatura y humedad (ITH), obtenida en [2], para calcular dichas condiciones en las que se manifiesta el EC en las vacas en función de la temperatura ambiente (T) y la humedad relativa (HR).

$$ITH = 0.81 \times T + HR(T - 14.4) + 46.4 \quad (1.1)$$

En la tabla 3.1, se muestra el intervalo en que se producen los distintos niveles de estrés calórico según el ITH. Cuando el índice no supera un valor de 74, las vacas se mantienen en el estado confort [2].

Tabla 3.1 Estrés calórico en vacas lecheras según el ITH.

ITH menor o igual a 74	No se produce el estrés calórico
ITH entre 75 y 79	Estrés calórico leve
ITH entre 80 y 83	Estrés calórico medio
ITH mayor o igual a 84	Estrés calórico grave

Fuente: Adaptación de [2]

3.1.2 Ventiladores

Un aspecto importante de los ventiladores es el caudal de aire, que se describe en [3], como el volumen de fluido desplazado por unidad de tiempo, la unidad anglosajona es cfm (*cubic feet per minute*, pies cúbicos por minuto en español), también se usa del SI la unidad m^3/min

$$1 \text{ m}^3/\text{min} = 2119 \text{ cfm} \quad (3.1)$$

El caudal de aire del ventilador determina la eficiencia en el enfriamiento del ganado, debido a que un flujo mayor de aire causa una mejor transferencia de temperatura al entorno. Por lo que es un factor muy importante al ser determinante en la efectividad del enfriamiento del ganado mediante la convección.

Otra característica relevante es su potencia mecánica, la cual normalmente se mide en hp (*horse-power*, caballos de fuerza, en español) que define el trabajo que se realiza para el movimiento de las aspas. Esto define la capacidad del motor de producir el movimiento que logra superar la inercia y mantener al ventilador en una velocidad constante.



Figura 3.1 Ventilador de 1 hp marca Weg. Foto propia.

El motor con que cuenta el propietario de la lechería es el mostrado en la figura 3.1, los cuales ya se utilizan en otro de sus establos, pero su arranque se realiza de forma manual mediante el uso de un interruptor manual.

El Factor de Servicio (FS), es el porcentaje de sobrecarga que el motor es capaz de soportar por breves períodos cuando se encuentra trabajando normalmente dentro de las tolerancias de voltaje correctas [4]. Esta característica es importante, debido a que determina la potencia máxima de operación del motor usado para el ventilador.

El ventilador que se propuso al inicio del proyecto, presenta las características obtenidas de la placa del motor, que se muestran en la tabla 3.2.

Tabla 3.2 Datos técnicos del ventilador de la marca Weg.

Voltaje (V)	Factor de servicio	Corriente nominal (A)	Potencia (hp)	Eficiencia (%)	Velocidad nominal (rpm)	Frecuencia (Hz)
127/220	1.15	14.20/6.83	1	62.0	1750	60

Fuente: Elaboración propia.

3.1.3 Controlador

Un controlador es un dispositivo usado para ejecutar el control de un circuito o sistema. Son utilizados principalmente en tareas sencillas de automatización que no requieren de supervisión continua.

El LOGO de Siemens, como se define en [5], es un módulo lógico universal que tiene integrado un control, temporizador, interfaz de módulo de ampliación, entradas y salidas, entre otros. Es decir, es un controlador que tiene la capacidad de ser ampliado mediante distintos módulos.

Debido a su versatilidad y su capacidad de procesamiento de datos, el LOGO tiene aplicaciones en distintas áreas, como lo son: sistemas HVAC (Heating/ Ventilation/ Air Cooling), sistemas de bombeo e irrigación, iluminación entre otras aplicaciones industriales [6].

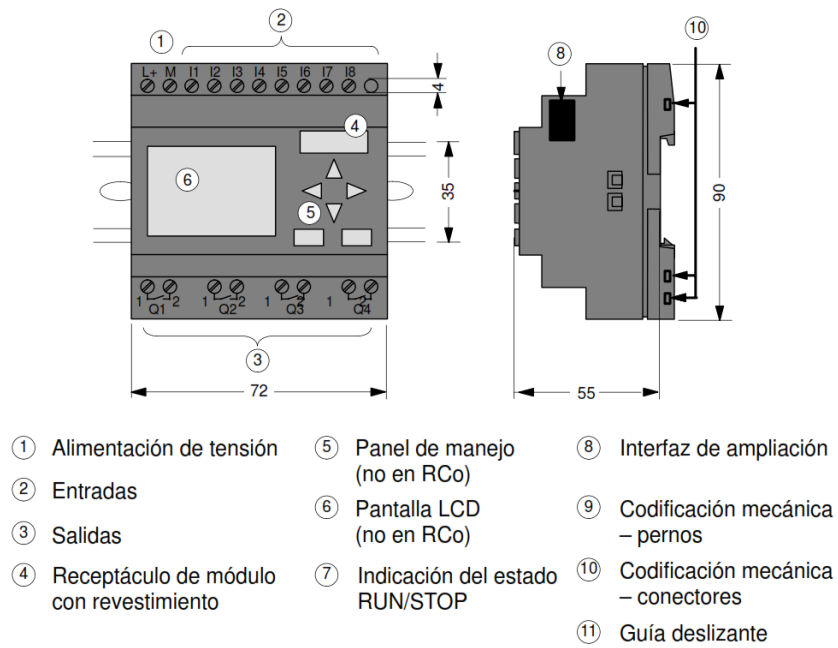


Figura 3.2 Diagrama de LOGO! 12/24RC. [5]

El módulo de ampliación que se utiliza para añadir entradas analógicas es el que se muestra en la figura 3.3.

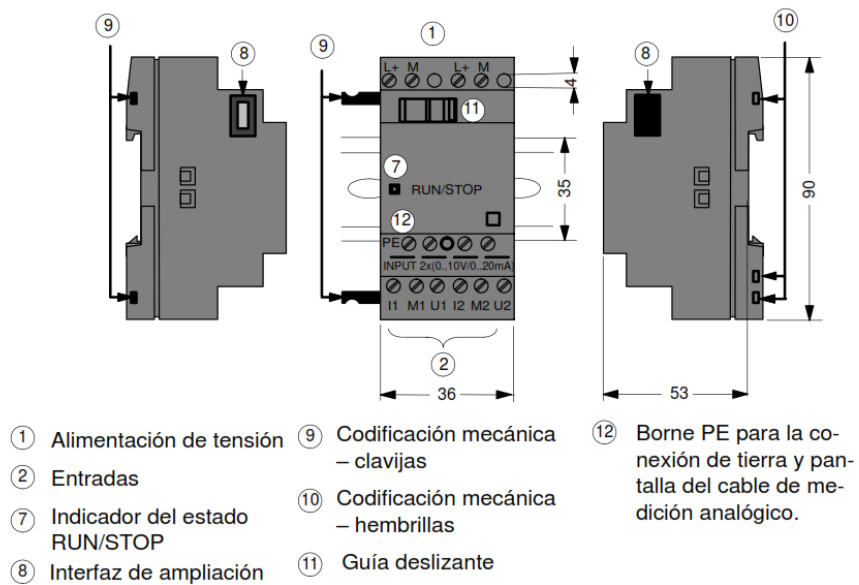


Figura 3.3 Diagrama de módulo LOGO! AM 2. [5]

Además, hay otro módulo a disposición para el uso de sensores PT100, que se observa en la figura 3.4.

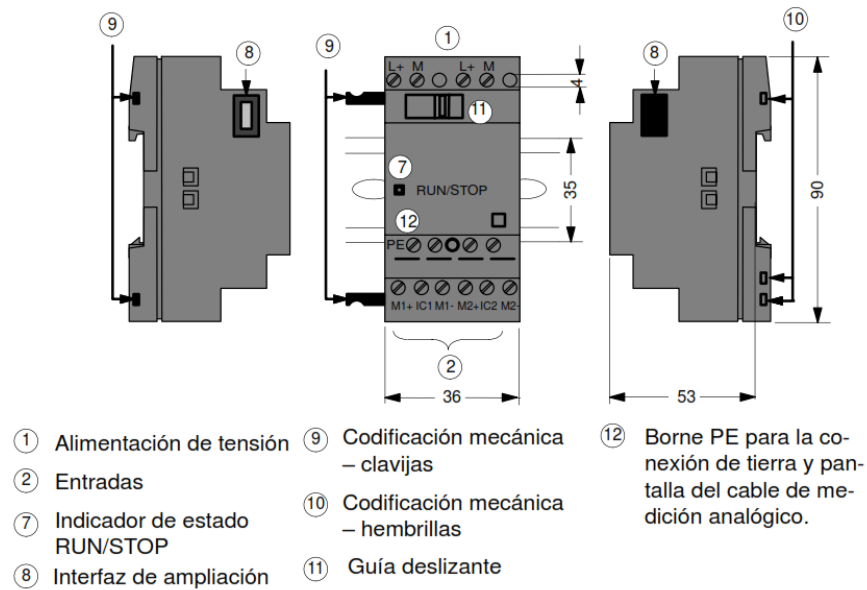


Figura 3.4 Diagrama de módulo LOGO! AM 2 PT100. [5]

El LOGO 12/24RC tiene una capacidad máxima de 8 módulos conectados, de los cuales 4 son módulos digitales LOGO DM8 y 4 módulos analógicos AM2. Por lo tanto, el PLC puede gestionar un total de 16 relés y utilizar 24 entradas digitales, además de 8 entradas analógicas [5].

A modo de nota aclaratoria, se explica que se puede utilizar el término PLC o relé inteligente con el mismo significado, debido a que los relés inteligentes se utilizan como controladores programables, aunque normalmente se hace la distinción.

3.1.4 Sensores de temperatura

Los sensores de temperatura se clasifican según las propiedades que utilizan para convertir la temperatura en una magnitud eléctrica. Algunos tipos de sensores son los siguientes:

3.1.4.1 Termistores

Según se indica en [7], el termistor es una “resistencia fabricada de material semiconductor que varía su resistencia eléctrica en función a los cambios de temperatura”.

Existen dos tipos de termistores según su comportamiento al variar la temperatura:

- NTC: Coeficiente de temperatura negativo, los cuales disminuyen su resistencia al aumentar la temperatura [7].

- PTC: Coeficiente de temperatura positivo, que aumentan su resistencia al aumentar la temperatura [7].

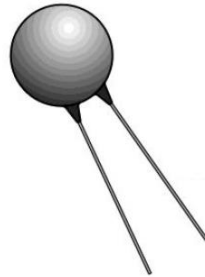


Figura 3.5 Termistor NTC. [7]

Los termistores no presentan un cambio lineal en función de la temperatura [8]. Por lo que no se puede realizar la medición con relación lineal entre el voltaje obtenido y la temperatura.

3.1.4.2 Termopar

Como se explica en [7], el termopar se compone, usualmente de dos conductores metálicos con distintas propiedades, que forman un circuito, sus uniones se encuentran en diferentes temperaturas. Debido a esto, se produce una corriente eléctrica en el circuito, por el efecto Seebeck.

También se aclara en [7], que, en caso de abrirse el circuito, se genera un pequeño voltaje en las terminales de unos milivoltios, que mantiene una relación casi lineal con la temperatura en intervalo de temperatura. Además, la diferencia de temperaturas produce dos voltajes en el circuito con polaridades opuestas, por lo que el voltaje equivalente es la diferencia entre esos voltajes.

Los termopares se fabrican con distintas calibraciones, de acuerdo a la aplicación que se tenga para ellos. Esto se determina con la combinación de metales con los que se construyen, por lo que se tienen distintos tipos, las calibraciones más conocidas son T, J, K y R [7].



Figura 3.6 Termopar tipo K.
Fuente: www.dhgate.com

3.1.4.3 Sensor de temperatura resistivo

El RTD (resistance temperatura sensor) funciona de forma similar al termopar, con el principio de los cambios de resistencia eléctrica de los metales puros, que ocurren al variar la temperatura. Al haber un aumento de la temperatura, la resistencia eléctrica en el RTD aumenta gradualmente [7].

Según se explica en [7], este sensor es ampliamente usado gracias a su estabilidad y a la relación lineal entre temperatura y resistencia. La temperatura ambiente se calcula mediante la fórmula en [7], que relaciona la temperatura (T) con la resistencia medida (R_T), la resistencia a $0\text{ }^\circ\text{C}$ (R_0) y el coeficiente de temperatura del RTD (α).

$$R_T = R_0(1 + \alpha T) \quad (3.2)$$

El sensor RTD más común es el fabricado con platino (Pt), tiene un rango desde los $-260\text{ }^\circ\text{C}$ hasta $630\text{ }^\circ\text{C}$. La notación usada define la resistencia del sensor a $0\text{ }^\circ\text{C}$, por ejemplo, Pt100 significa que su resistencia es de $100\ \Omega$ [7].

La ventaja de esta clase de sensor es la gran estabilidad que tienen en sus mediciones [8], lo cual los convierte en una opción apta para aplicaciones en las cuales se requiera la obtención de mediciones de forma confiable y estable en el tiempo, como lo puede ser un sistema de aire acondicionado.

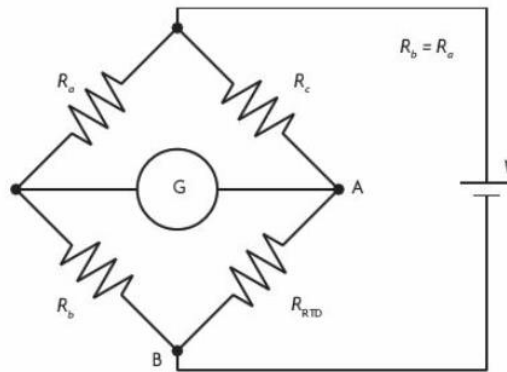


Figura 3.7 Configuración del RTD. [7]

3.1.5 Sensores de humedad

La humedad relativa se explica en [7], como “la relación entre la cantidad de agua actual en el aire y la cantidad que tendría en estado de saturación sin que haya condensación, el cual se expresa como un porcentaje”.

Se pueden dividir los tipos de sensores de humedad relativa en función al material de fabricación en tres clases: cerámicos, semiconductores y de polímero orgánico. La mayor cantidad de estos sensores se basan en las propiedades electrolíticas de los materiales de los que están fabricados [9].

Todos ellos utilizan los cambios en las propiedades físicas y eléctricas de los elementos sensibles cuando se exponen a las condiciones de humedad del ambiente, midiendo la absorción de las moléculas de vapor de agua [9].



Figura 3.8 Sensor de humedad relativa.

Fuente: www.vernier.com

3.1.6 Programación de PLC

Como se explica en [10], cuando se inició con los PLC, los fabricantes se propusieron que su programación fuera lo más sencilla posible, a partir de esto, se da el desarrollo de la programación de escalera (ladder), el cual permite diseñar programas que se conviertan en lenguaje de máquina.

El diagrama de escalera consiste en dos líneas verticales que representan los rieles de potencia, y los circuitos se conectan en líneas horizontales, que serían los escalones [10].

Según [10], las convenciones del diagrama de escalera son:

- El flujo de energía se toma desde la vertical izquierda a través del escalón.
- Cada escalón en la escalera define una operación en el control de proceso.
- La lectura se realiza de izquierda a derecha y de arriba abajo.
- Cada peldaño debe comenzar con al menos una entrada y terminar con una salida como mínimo. La entrada se trata de una acción de control y la salida define un dispositivo conectado a la salida de un PLC.
- Los dispositivos eléctricos se muestran en su condición normal.
- Un dispositivo particular puede aparecer en uno o más escalones de la escalera.
- Las entradas y salidas son identificadas por sus direcciones; la notación depende del fabricante.

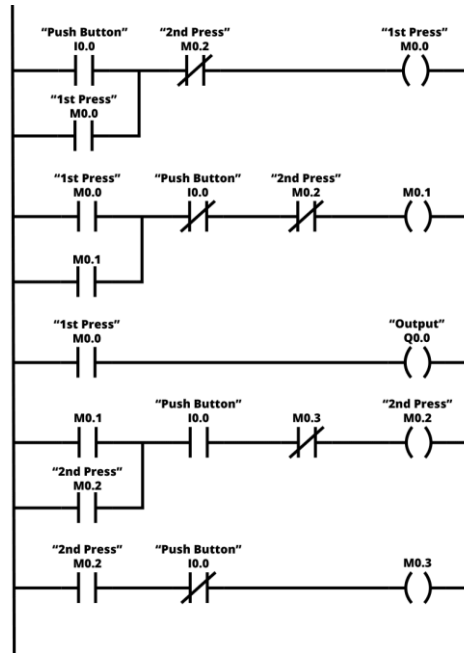


Figura 3.9 Diagrama de escalera.
Fuente: www.fiverr.com

Otro método para programar un PLC, es la programación de bloques funcionales (FDB por sus siglas en inglés). Como se describe en [11], es una programación gráfica que utiliza la lógica booleana, la cual se recomienda en caso de que no se utilicen ciclos en un programa que se ejecuta en paralelo.

Algunas funciones disponibles en el diagrama de bloques de funciones son AND, OR y NOT, necesarias para establecer las condiciones de ejecución de las tareas que se encuentran en distintos tipos de procesos.

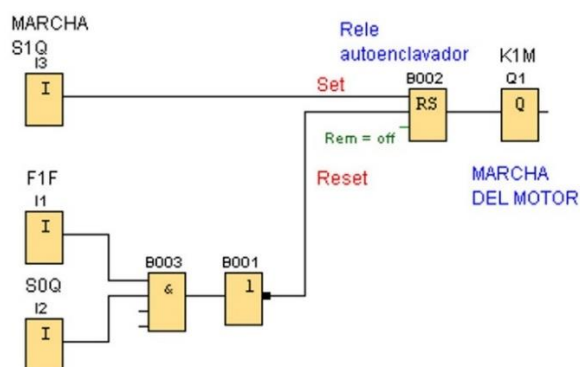


Figura 3.10 Diagrama de bloques funcionales.
Fuente: www.codigoelectronica.com

3.1.7 Contactor

Según [12], se trata de un dispositivo de conmutación que se acciona mediante un electroimán que mueve los contactos eléctricos agrupados en el bloque unido a una parte móvil. Al aplicar una tensión en el electroimán, este cierra los contactos logrando la conducción de corriente [12].

Se pueden encontrar contactores de tipo monofásico y de tipo trifásico.



Figura 3.11 Contactor Schneider.

Fuente: omcorp.com.ve

La función del contactor es la de actuar como interruptor automático de máquinas eléctricas, por ejemplo, los motores.

3.1.8 Disyuntor o breaker

El breaker es un dispositivo que actúa mediante la temperatura de una lámina metálica, el cual se utiliza para evitar que las sobrecargas causen averías en los motores eléctricos [13].

Como se aclara en [13], el dispositivo cuenta con una lámina que se conforma de dos metales distintos, que se expanden al calentarse a causa de la corriente eléctrica, en el caso del metal con mayor capacidad de dilatarse causa que se curve el metal, por lo que realiza la desconexión del circuito. Luego el metal se enfría y vuelve a la posición inicial.

Se puede separar en categorías por los siguientes parámetros:

Corriente nominal: Es la corriente mínima necesaria para causar la desconexión del circuito.

Cantidad de polos: Determina el número de cables que se pueden conectar en el breaker. Suelen ser de 2 a 4 polos.

Tensión de trabajo: Voltaje en el que debe operar el disyuntor. Pueden ser valores de 110V o 220V para redes monofásicas.



Figura 3.12 Disyuntor de 2 polos ABB.
Fuente: elettroneu.com

3.1.9 Guardamotor

Es un dispositivo específicamente diseñado para la protección de motores eléctricos. Funciona de forma similar a un disyuntor, pero tiene la ventaja de ser más robusto a las sobrecargas al arrancar el motor, además de permitir la selección de la corriente de disparo y proporcionar protección frente a la falta de tensión de una fase [14].

Según lo que se expone en [15], el dispositivo es equivalente en sus funciones a un relé y un contactor, el mismo tiene la función de proteger los motores, realizando la desconexión cuando se detecta una sobrecarga, así como cortocircuitos que podrían ocasionar daños al motor.

También, según se aclara en [14], el guardamotor cuenta con acoplamientos mecánicos para realizar conexiones auxiliares en NO y NC, así como permite seleccionar la corriente de desconexión del disparo térmico.



Figura 3.13 Guardamotor Sirius de Siemens.
Fuente: www.motecmex.com.mx

3.2 Antecedentes bibliográficos

En un estudio [16], se separó un grupo de vacas en etapa de lactancia en dos lotes. El lote de control sólo fue tratado con sombra en el corral, en cambio el otro lote recibió un tratamiento basado en ventiladores y dispersores bajo sombra. En ese estudio se halló que el grupo tratado con el sistema de enfriamiento presentó una producción de leche promedio de $30,5 \pm 0,94$ kg/día, la cual es superior a la del grupo sin tratamiento ($26,6 \pm 0,98$ kg/día). Además, la tasa de preñez (embarazos exitosos) del grupo con el tratamiento fue de 92% comparado con un 50% del lote de control.

En [17], se muestran los resultados de un estudio en el que se evaluó el efecto del estrés calórico sobre la producción de leche de un hato. Se encontró que cuando la humedad relativa (HR) es menor al 80% la producción láctea promedio es de $15,34 \pm 3,3$ l/día por animal. En el intervalo de HR alta que está entre 80% y 87%, se reduce la producción promedio de leche en 1,08 l/día. También se mostró que al aumentar la humedad relativa baja considerablemente la producción, disminuyendo la producción hasta 1,75 l/día cuando la HR es mayor que 95%.

En [18] se describen los distintos mecanismos que el ganado vacuno utiliza para liberar calor, los cuales son: radiación, conducción, convección y evaporación. Los mecanismos de termólisis (pérdida de calor) que se pueden controlar son la convección y la evaporación.

Se puede utilizar ventilación forzada para provocar una variación de temperatura entre la piel de las vacas y el aire que las rodea, así también se podría integrar aspersores de agua para que la vaca pierda calor por evaporación cuando la humedad relativa sea elevada y evite la sudoración del animal.

3.3 Descripción de los principales principios físicos y electrónicos relacionados con la solución

3.3.1 Mecanismos de pérdida de calor

Para comprender el estrés calórico, es necesario comprender los mecanismos de transferencia de calor que utilizan los animales para disminuir su temperatura interna; esto debido a que, como se menciona en [19], la temperatura en el interior de las vacas sube cuando digieren los alimentos.

La radiación, la cual los objetos con mayor temperatura que el entorno emite en forma de rayos infrarrojos, es la forma en que se puede disipar hasta un 60% del calor corporal [19].

La convección ocurre cuando el cuerpo entra en contacto con las partículas de aire o agua, ya que, al calentarse las partículas producen una reducción en la temperatura de la piel. Es proporcional a la superficie expuesta y puede representar hasta el 12% del total de la pérdida de calor, cuando se evapora el agua del cuerpo se puede alcanzar el 20% de la transferencia de calor [19].

3.3.2 Elementos mecánicos y eléctricos

El electroimán funciona mediante una corriente eléctrica que fluye a través de una bobina que produce un campo magnético, el cual magnetiza el núcleo que puede ser de hierro [12].

Se puede realizar la conexión de los contactos de los dispositivos con un electroimán., por lo que se usan como interruptores en los contactores y las válvulas de solenoide.

Los cables que se conectan a los contactores, se caracterizan por su resistencia eléctrica, que se relaciona de manera inversa al radio de su sección transversal, lo que determina las pérdidas de energía en la línea por el efecto joule, mencionado en [20], que es debido al calentamiento de los cables. La fórmula en [20], para calcular la potencia disipada (P), dada en kW, está en función de la intensidad de la corriente (I) y de la resistencia eléctrica (R).

$$P = I^2 \times R \quad (3.3)$$

Para calcular la corriente de plena carga en que opera el motor, se utilizó una ecuación adaptada de [21], que incluye el voltaje del motor (V), el factor de potencia (fp) y el rendimiento (η).

$$I = \frac{P}{V \times fp \times \eta} \quad (3.4)$$

El motor que se planteó utilizar en un inicio, según los datos obtenidos de la placa con la información eléctrica mostrados en la tabla 3.2, cuenta con una potencia de 1 hp (745 W), el factor de potencia del motor es de 80%, el voltaje de operación es de 120V y el rendimiento es de 62%. Por lo que la corriente de plena carga es de 12,53 A.

Según la sección 430.22 A de [25], la corriente soportada por el conductor no debe ser inferior al 125% de la corriente de plena carga del motor, la corriente mínima del cable es de 15,66 A. Por lo tanto, el calibre de cable mínimo aceptable es el 14 AWG, ya que su corriente nominal a 30°C es de 20 A.

Pero, debido a que se consideró necesario tener un bajo consumo energético, se optó por el ventilador K6E71K0 de la marca Multifan, el cual cuenta con una potencia de 460 W y una corriente nominal de 4,2 A [22].

3.3.3 Programación del control automatizado

La opción que se eligió utiliza el control eléctrico de los dispositivos del sistema de refrigeración mediante la programación con un software distribuido por el fabricante de LOGO, es decir, Siemens, cuyo programa se llama *Soft Comfort*.

Como se describe en [23], el software permite la creación de programas mediante la selección de las funciones y sus conexiones, al moverlas en la pantalla para colocarlas. Tiene dos modos: modo simple y modo de red, además se puede elegir la programación por diagrama de funciones o diagrama de escalera. También tiene las funcionalidades de prueba, simulación, prueba en línea y archivar los programas de conmutación.

Pero debido a que no se logró realizar la compra de los productos cotizados para iniciar con el desarrollo del sistema de control, se decidió realizar la programación de un prototipo con el uso de la plataforma Arduino.

El Arduino cuenta con una librería del sensor DHT11, mediante la cual se pueden obtener los datos de temperatura y humedad relativa. Estos datos son evaluados con la fórmula de ITH, para detectar el estrés calórico. En el caso de la detección se inicia con el algoritmo diseñado para el sistema de enfriamiento, en el cual se adaptó la escala de tiempo en segundos, para su implementación en forma práctica.

Capítulo 4: Procedimiento metodológico

4.1 Reconocimiento y definición del problema

El tema surgió al observar la relevancia que tiene la temática del estrés calórico (EC) en los posibles beneficios económicos que se obtendrían en las lecherías de la zona norte.

Luego de recabar información sobre los efectos importantes del EC en la producción lechera del ganado, se decidió realizar un proyecto que propusiera una solución al problema mencionado. También, como se aclara en [1], la región norte de Costa Rica, presenta un elevado índice promedio de ITH, que varía entre 85 y 89 a lo largo del año. Por lo cual, el ganado de la zona es susceptible a padecer el EC.

Se debe destacar que, en el 2018, la producción de leche en esta zona, según [24], era la mitad del total a nivel nacional. Por lo tanto, es una región crítica del sector ganadero que impacta en la economía del país.

Al analizar los datos recopilados sobre las acciones tomadas en diversos lugares del mundo para solucionar el problema de la disminución en la productividad de las vacas, es evidente que un sistema de ventilación forzada en los establos logra dar resultados positivos en la producción. Por ende, un sistema automatizado de refrigeración se presenta como una estrategia adecuada para atacar el problema.

4.2 Obtención y análisis de información

Al comenzar el proyecto con la oportunidad de desarrollar un controlador en una placa PCB que tuviera un bajo costo y corto tiempo de producción, se encuentra que el cliente no estaba conforme con esta solución. Por lo que se le consultó, para asegurarse de su preferencia para obtener la solución del problema, mostrando su interés con el uso de un PLC para el proyecto.

También se realizó una búsqueda de artículos en internet sobre investigaciones realizadas acerca del efecto del estrés calórico en ganado vacuno, así como artículos sobre los resultados obtenidos en la producción de leche al implementar un sistema de enfriamiento.

El análisis de los datos se enfocó en los beneficios que se logran al exponer al ganado a un sistema de enfriamiento que se compone de ventiladores y de aspersores de agua, así como la forma de realizarlo para obtener los mayores beneficios. Al observar los resultados de los estudios consultados, queda en evidencia la efectividad que dicho sistema presenta al aumentar la producción lechera de las vacas estudiadas en comparación a la producción obtenida antes de aplicar la refrigeración.

La principal dificultad al buscar estudios sobre el impacto de un sistema de ventilación, es que la mayor parte de esos estudios se realizaron en países de zonas climáticas distintas a las que se hallan en Costa Rica, tales como las de México [16], y la India [26]. Esto ocasiona que los resultados en este país puedan variar de manera considerable en comparación con los obtenidos en los países mencionados anteriormente, debido a las diferencias en las condiciones climáticas, así como la alimentación y el tratamiento brindado a las vacas.

Es decir, aunque se consiga una mejora de la producción en las lecherías en las cuales se implemente el sistema de enfriamiento, no se puede afirmar que los beneficios logrados sean similares a los que se revisaron.

Otro problema en la obtención de la información, es la poca cantidad de estudios sobre el algoritmo para la activación y desactivación de los ventiladores y los aspersores de agua, para obtener los resultados más eficientes.

Hay que reconocer que los componentes del sistema presentan altos costos porque tienen requisitos de rendimiento y seguridad estrictos para evitar accidentes eléctricos por cortocircuitos o conexiones a tierra. Pero en el caso de este proyecto el costo no representa un aspecto crítico a considerar, sino que es preferible que se usen dispositivos que sean confiables y con el desempeño requerido.

4.3 Evaluación de las alternativas y síntesis de una solución

Para evaluar la conveniencia de las distintas opciones a elegir para cada uno de los componentes se procedió a realizar un estudio de las hojas técnicas, las cuales se buscaron por medio de internet.

El criterio de selección de las alternativas, es el análisis de conveniencia realizado con la matriz de ponderación. Con dicha matriz se realiza la comparación de las características de cada opción con respecto a los requerimientos del proyecto.

Para los componentes expuestos al exterior, es decir, los sensores y los cables, deberán contar con una protección contra la humedad, debido a que se utilizarán aspersores de agua que saturarán el entorno con gotas de agua muy pequeñas.

Se evaluó el desempeño del algoritmo propuesto mediante una simulación CADe Simu, para determinar si el sistema de enfriamiento presenta el comportamiento esperado. En el simulador se utilizó el componente del PLC Logo, al cual se le conectó en sus salidas la bobina del contactor que controla la activación de cada ventilador, así como una válvula de solenoide que se encarga del riego de agua por dispersión. En las entradas se hizo la conexión de dos interruptores que representan la detección de distintos valores de ITH, uno de los cuales provoca el estrés calórico (ITH mayor a 74), que provoca el encendido del circuito de control del sistema de enfriamiento. El otro nivel de detección, es cuando el índice ITH sea superior a 70.

4.4 Implementación de una solución

Inicialmente se requirió investigar sobre la manera de diseñar planos eléctricos y el software CAD que se necesita para crear los diseños. Se propuso al principio utilizar Solidworks Electrical, pero debido a el tamaño del símbolo de PLC con que cuenta, no mantiene la relación de aspecto con los demás símbolos, por lo que no se consideró adecuado para realizar el diagrama eléctrico. Por lo tanto, se eligió Proficad por su simplicidad de uso y por su librería completa que contiene todos los componentes requeridos en el plano eléctrico.

Se realizó también, el esquemático del sistema de enfriamiento con el programa CADe Simu. Así mismo, se utilizó para diseñar el diagrama de bloques lógicos de la simulación del sistema.

El prototipo desarrollado se basa en la plataforma Arduino, que recibe datos de humedad y temperatura de un sensor DHT11 y calcula el ITH para detectar si se cumple la condición de estrés calórico. Si se detecta, se activan las salidas del aspersor de agua, que se representa con un led y un relé que activa un ventilador, la rutina se realiza de forma secuencial con diferentes intervalos de activación.

4.5 Reevaluación y diseño

Las recomendaciones para proyectos futuros de este tipo, son los que se enlistan:

- Realizar una documentación exhaustiva con profesionales en la materia, como lo son los ingenieros agrónomos, acerca de las mejores maneras de mantener el confort térmico de las vacas lecheras más comunes en la zona.
- Elegir de manera adecuada el tipo de ventilador requerido en función del tamaño del establo y de la cantidad de vacas que ocupan el recinto.
- Determinar de forma clara las especificaciones del cliente al iniciar un proyecto.

Para lograr mejoras en un proyecto de mayor escala, es preferible el uso de un PLC con una mayor cantidad de salidas digitales y de entradas para utilizar más sensores, para obtener las mediciones del promedio de humedad relativa y temperatura en distintos puntos de medición en el recinto. Aunque un relé inteligente que admita la conexión módulos de expansión puede desempeñarse de forma satisfactoria.

Capítulo 5: Descripción detallada de la solución

5.1 Análisis de soluciones y solución final

En primera instancia se planteó el desarrollo el control del sistema mediante el desarrollo de una placa PCB, que cuente con un microcontrolador PIC para realizar el procesamiento de los datos de los sensores, para ejecutar el control del sistema de enfriamiento, activando las salidas cuando se pueda producir estrés calórico en las vacas. Pero el dueño de la lechería, luego de consultarle, decidió que el sistema de control se implementara mediante un PLC, el cual presenta una gran fiabilidad en el control de operaciones simples que requiere evaluar datos de sensores para tomar decisiones.

Por lo tanto, se realizó el diseño contemplando los cambios, eligiéndose al PLC para recolectar los datos de temperatura y humedad del establo, para después evaluar si las condiciones son las que causan el estrés calórico en las vacas. Si se daba el EC, se activa la rutina para el control de los ventiladores y la electroválvula para conseguir el enfriamiento del ganado.

El reglamento que se debe cumplir en Costa Rica para la instalación de sistemas eléctricos basado en el documento del Código Eléctrico Nacional [25], de la Asociación Nacional de Proyección contra el Fuego, o NFPA por sus siglas en inglés, la cual es una organización de los Estados Unidos que se encarga de establecer distintas medidas de seguridad contra incendios. Los artículos que son de interés para el proyecto son los que tratan sobre los cables, equipo de protección, motores y también sobre los tableros eléctricos.

Debido a que se debían obtener las mediciones de la longitud, el ancho y la altura del establo, utilizadas para diseñar el plano, se realizó una visita al establo. También se tuvo en consideración la cantidad de ventiladores y de sensores para designar su ubicación en el plano eléctrico.

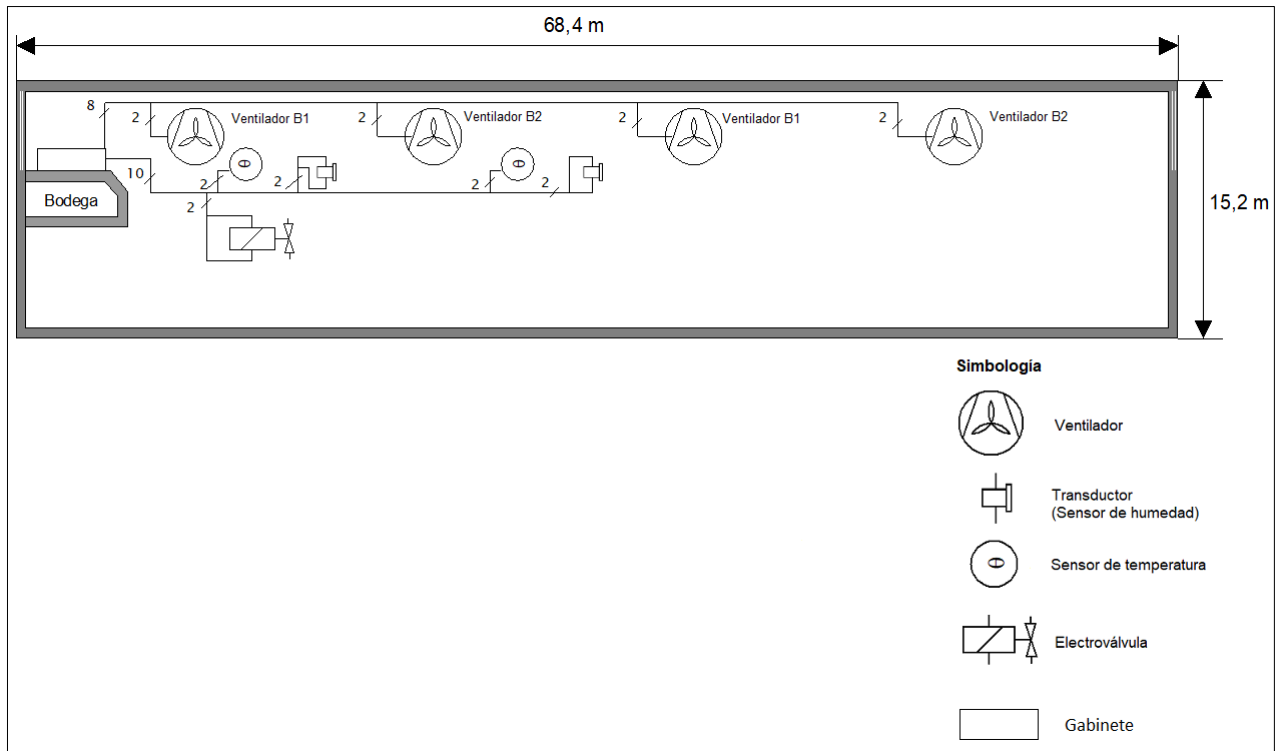


Figura 5.1 Plano eléctrico del sistema de enfriamiento automatizado.
Fuente: Elaboración propia mediante Proficad.

En el plano eléctrico se muestra la ubicación de los ventiladores, la electroválvula y los sensores en el establo. Los ventiladores están separados por una distancia de 15 metros entre cada uno, por lo que cada ventilador se encarga de ventilar aproximadamente unas 12 vacas. La altura en que se colocaría es a 2,10 m sobre el nivel de suelo, según se realizó en [16], para que la ventilación forzada pueda alcanzar al ganado de manera fluida.

Los sensores de humedad y temperatura se colocan próximos entre sí, a 5 metros de un ventilador del primer bloque, los otros dos sensores se colocan a 5 metros del ventilador del segundo bloque. Los ventiladores mencionados son los más cercanos al gabinete, para evitar la pérdida de señal en los cables de cada uno de los sensores.

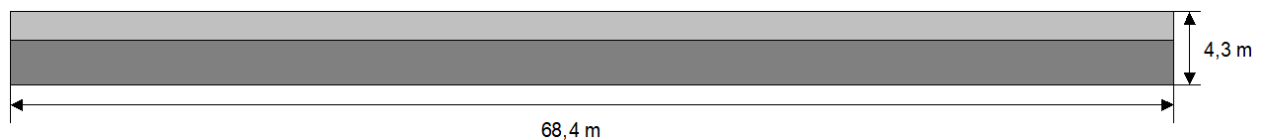


Figura 5.2 Vista lateral del establo.
Fuente: Elaboración propia mediante Proficad.

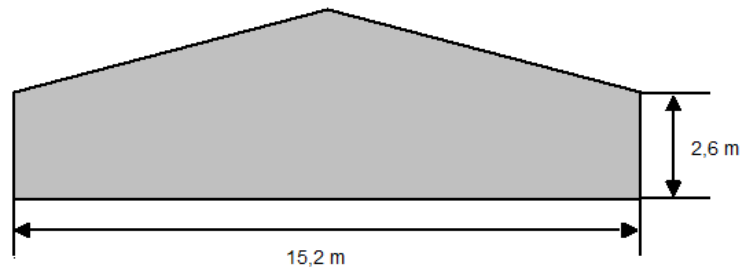


Figura 5.3 Vista frontal del establo.
Fuente: Elaboración propia mediante Proficad.

5.1.1 Módulo de control

Para elegir el PLC, se evaluaron tres alternativas del mercado para elegir la opción más conveniente, determinado por sus características más importantes para los requerimientos del proyecto.

Tabla 5.1 Comparación de las características de distintos relés inteligentes.

Característica	Logo 12/24RC	Eaton 719-DC-RC	Zelio SR2B121BD
Entradas analógicas	0	4	4
Entradas digitales	8	12	8
Relés	4	6	4
Memoria	2 kB	-----	240 líneas con Ladder
	130 bloques		500 líneas con FDB
Conexión ethernet	Sí	No	No
USB	Sí (adaptador)	No	No
Módulo de alimentación	Sí (24VDC)	Sí	Sí
Módulo E/S	Sí (AM2 y DM8)	Sí	Sí
Cables compatibles	13-16 AWG	12-22 AWG sólido	14-25 AWG sólido
		12-22 AWG flexible	14-24 AWG flexible
Costo	120 000	130 000	98 000
Protección IP	IP20	IP20	IP20 (bornero)
			IP40 (panel frontal)
Protocolos de datos	AS-interface	-----	-----
Potencia	1.8 W (24VDC)	2 W	3W sin extensión
Vida útil de relé	3×10^5 ciclos	10^9 ciclos	10^7 ciclos
Corriente de relé	10 A	8 A	8 A
Consumo de corriente	75 mA (24VDC)	140 mA	100 mA

Fuente: Elaboración propia.

Se analizan las distintas opciones disponibles mediante una matriz de ponderación, que permite determinar cuál es la opción más adecuada a los requisitos establecidos. En la matriz, el peso determina la importancia que se le dan a las características analizadas con valores entre 0 y 10, también se establece la puntuación de cada alternativa para todas las características en función de sus capacidades evaluadas, la cual se califica con un valor de 0 en caso de no poseer la característica y hasta un valor de 5 si es idóneo para lo requerido.

Tabla 5.2 Matriz de ponderación de las alternativas de relés inteligentes.

Característica	Peso	Logo 12/24RC	Eaton 719-DC-RC	Zelio SR2B121BD
Entradas analógicas	3	0	4	4
Entradas digitales	2	3	5	3
Comunicaciones	6	5	0	0
Potencia promedio	9	5	5	4
Costo	5	4	4	5
Carga de relés	7	5	4	4
Módulos de expansión	5	5	5	5
Ponderación		161	130	126

Fuente: Elaboración propia.

La característica que se considera como el factor de mayor importancia es la potencia promedio, ya que el dispositivo va a estar activo todo el día para evaluar las condiciones ambientales en el intervalo de tiempo en que las vacas se encuentran en el establo. Por lo tanto, es importante utilizar dispositivos de bajo consumo para reducir los gastos en la factura eléctrica del sistema de control, por este motivo se le asignó un peso de 9 a la casilla de potencia promedio en la matriz.

El siguiente factor en importancia es la capacidad de los relés, la cual tiene un peso de 7. Esto se debe a que es necesario contar con relés que soporten una mayor intensidad de corriente para evitar daños al momento de controlar los distintos contactores y la electroválvula. En este aspecto, el Logo 12/24RC presenta la cualidad que se considera más favorable, ya que soporta una corriente de 10 A en cada uno de sus 4 relés.

Las comunicaciones también son críticas para ejecutar diferentes tareas en la programación y el mantenimiento del dispositivo, ya que simplifica el análisis del funcionamiento de los programas y las mediciones que se realizan con el relé inteligente. Luego de evaluar esta característica se le asignó un peso que toma en cuenta su función crítica en las tareas ordinarias de los controladores.

Tanto las características de costo y del módulo de expansión fueron designadas con un valor de 5, ya que el costo, que tiene una importancia moderada al evaluar la elección del PLC, no se considera como un aspecto limitante al realizar el estudio económico del proyecto, sino que es preferible utilizar un PLC que cumpla con los requerimientos que se propusieron al inicio.

También es conveniente que el controlador cuente con un módulo de expansión de entradas analógicas que permita aumentar la capacidad de medición con sensores de temperatura y humedad, ya que se requiere evaluar estas propiedades físicas en el sitio en que se implemente el sistema de enfriamiento para contar con un panorama más general del lugar. Por lo que se contempla la disponibilidad de módulos de expansión en la evaluación en la matriz de ponderación.

Las que se valoraron con menor importancia son las propiedades de las entradas analógicas y digitales, ya que no son modificables, sino que se pueden complementar con el módulo de expansión. Además, en este proyecto no se requiere hacer uso de las entradas digitales, debido a que los sensores seleccionados función de forma analógica.

Por los aspectos discutidos anteriormente y por la puntuación obtenida luego de la ponderación, la alternativa que sobresale como la mejor alternativa para el proyecto es el PLC Logo.

5.1.2 Cableado

La elección del cable que alimenta a los ventiladores es determinante para aprovechar de manera óptima la energía eléctrica, ya que, al utilizar un cable de un calibre incorrecto pueden aumentar las pérdidas de energía por el efecto joule.

El calibre de los cables comparados es de 12 AWG, el cual, como se indica en [25], permite una corriente máxima de 30 A, con una temperatura ambiente de 30°C en entornos húmedos y secos. El cable se constituye de dos alambres por cable, debido a que los motores son monofásicos.

Tabla 5.3 Comparación de las características de las diferentes opciones de cable.

Característica	SPT	TGP	TSJ
Resistencia (Ω /km)	5,58	5,43	5,58
Voltaje máximo (V)	300	600	600
Protección del cable	PVC	PVC	PVC
Costo por metro (colones)	808	726,6	927,7
Temperatura máxima(°C)	60	90	60
Corriente a 30 °C (A)	25	30	20

Fuente: Elaboración propia.

Para la elección del cable idóneo para alimentar los motores se evaluaron las opciones mediante la matriz de ponderación, que se le establecieron los pesos de las características determinados por la aptitud que tiene cada una.

Tabla 5.4 Matriz de ponderación de las alternativas de cables.

Característica	Peso	SPT	TGP	TSJ
Resistencia	3	4	5	4
Voltaje máximo	7	3	4	4
Protección del cable	8	5	5	5
Costo por metro	5	3	5	2
Corriente a 30°C	7	4	5	3
Ponderación		116	140	111

Fuente: Elaboración propia.

La protección se estimó como el factor de mayor peso en la elección del cable más adecuado para la conexión de los ventiladores. Esto es porque es esencial la protección de la cubierta externa del cable en un ambiente donde se rocíe agua por medio de aspersores, ya que aumenta la humedad relativa del ambiente, sumado a ello el cable debe ser resistente al fuego en caso de presentarse un conato de incendio.

El voltaje máximo y la corriente máxima, son aspectos fundamentales al diseñar proyectos con motores, ya que se debe suplir la demanda de potencia eléctrica de cada motor. El cable debe soportar las corrientes pico que ocurren al encender los motores, así como la corriente de plena carga del motor.

El costo por metro de cable tiene una prioridad media en la elección del cable, debido a lo que se le da mayor atención es la seguridad y las características eléctricas del cable que presentan un papel importante en la funcionalidad de los ventiladores.

La resistencia representa un factor de poca importancia, debido a que la distancia considerada en el diseño, entre el gabinete y el ventilador más alejado es de aproximadamente 45 metros, lo cual causa una caída de voltaje de aproximadamente 3V con una corriente de operación de 12,53 A.

Un factor de le otorga una ventaja al cable TPG sobre los demás, es que cuenta con resistencia a la intemperie, la humedad y a los rayos ultravioleta. Adicionalmente, este cable está diseñado para usarse en la instalación de motores, por su robustez y resistencia a daños como el aplastamiento.

Luego de realizar la ponderación de las características, mostrada en la tabla 5.4, se determina que la mejor opción para alimentar a los motores es el cable TGP.

5.1.3 Sensor de temperatura

Se requiere un sensor que tenga una precisión que permita obtener datos fiables de temperatura. Estos sensores son de montaje en pared, por lo que se facilita su instalación en espacios interiores.

Para la elección del sensor de temperatura se tuvieron en cuenta distintos aspectos del dispositivo relacionados al rendimiento y consumo de potencia.

Tabla 5.5 Comparación de las características de distintos sensores de temperatura.

Característica	KTR81	EE451	Futura FTS-1
Voltaje (V)	24	15-35	16-35
Corriente(mA)	4-20	4-20	4-20
Rango de medición (°C)	-40 a 105	-40 a 70	-7 a 49
Precisión (°C)	0.28	0.3	0.556

Fuente: Elaboración propia.

También, es conveniente evaluar las distintas opciones mediante una matriz de ponderación, para escoger el sensor que mejor se desempeñe.

Tabla 5.6 Matriz de ponderación de los distintos sensores de temperatura.

Característica	Peso	KTR81	EE451	Futura FTS-1
Corriente	5	5	5	5
Rango de medición	3	5	4	3
Precisión	8	5	4	3
Ponderación		80	69	58

Fuente: Elaboración propia.

Para obtener mediciones más confiables de la temperatura, el sensor debe tener la menor incertidumbre de medición posible. Por lo que se valoró la precisión con el peso más alto de la matriz, ya que este atributo facilita la tarea de obtener datos más cercanos al valor real.

La corriente de operación tiene una importancia media para el proyecto, porque las alternativas propuestas presentan un consumo de 4 a 20 mA, el cual es el estándar de este tipo de sensores, por lo tanto, no tiene un papel crítico en la elección. Debido a esto se le asignó un 5 en la casilla de peso.

La característica de menor peso es el rango de medición, ya que todas las alternativas logran medir los valores típicos de la temperatura ambiental, pero para efectos de la evaluación se le asigna valor al rango de valores que sean capaces de medir.

La ponderación, muestra que el sensor KTR81 es la mejor opción, por su desempeño en las distintas características evaluadas, por lo que fue seleccionado para el proyecto.

5.1.4 Sensor de humedad

Es necesario contar con un sensor de humedad robusto para evitar errores de la medición y que cuente con protección contra el agua para un rendimiento mayor del dispositivo. El tipo de montaje requerido para el proyecto es de pared, ya que facilitaría la instalación en la ubicación apropiada en el establo.

Tabla 5.7 Comparación de las características de distintos sensores de humedad.

Característica	KHR3-T21	H7635A2012	EE160
Voltaje (V)	9.5-28	18-40	24
Corriente(mA)	4-20	4-20	4-20
Voltaje de salida (V)	0-9.5	0-10	0-10
Rango de medición (%)	0-100	0-95	10-95
Precisión (%)	3	3	4

Fuente: Elaboración propia.

Para seleccionar el sensor apropiado, hay que tener en cuenta una comparación mediante una matriz de ponderación de las alternativas.

Tabla 5.8 Matriz de ponderación de los distintos sensores de humedad.

Característica	Peso	KHR3-T21	H7635A2012	EE160
Corriente	5	5	5	5
Rango de medición	4	5	4	4
Precisión	8	5	5	3
Ponderación		85	81	65

Fuente: Elaboración propia.

De manera similar a lo establecido en la matriz de ponderación de los sensores de temperatura, se determinó que la característica más importante en la elección del sensor de humedad es la precisión de los datos que miden. Esto es un factor que influye directamente en la obtención de datos, los cuales tener la menor incertidumbre para calcular el ITH de la forma más precisa.

El siguiente factor en importancia es la corriente, pero esta no representa un valor significativo en la ponderación, debido a que la corriente de operación es la misma para las 3 opciones disponibles en la matriz. Por esta razón se establece un peso de 5 en la matriz de ponderación.

Por último, se tiene el rango de operación, que cuenta con el menor peso en la ponderación. Esta característica no es primordial en la evaluación, porque en el caso de los sensores analizados, cuentan con un rango de medición similar, por ende, su efecto en el resultado de la ponderación no es considerable. Aunque al reconocer el mayor espectro de valores que es capaz de medir el sensor KHR3-T21, se le da un mayor puntaje en este aspecto.

Luego de considerar la ponderación de la tabla 5.8, el sensor que obtuvo un mayor puntaje es el KHR3-T21, por lo que se considera como la opción que mejor se desempeñaría en la tarea.

5.2 Módulo de protección

Se van a presentar los distintos componentes requeridos para proteger el motor, el PLC y el resto de dispositivos. Se debe evitar excesos de corriente y descargas en conexión a tierra, por lo que los dispositivos de protección son indispensables en instalaciones eléctricas.

5.2.1 Contactor

El contactor requerido debe ser fiable y además contar con los aspectos necesarios para cumplir con su objetivo de controlar la activación del motor. Debido a que se produce una corriente pico en el encendido del motor, el contactor deberá soportar esa corriente.

Se consideraron las distintas características técnicas de distintos contactores, para realizar una comparación de las funcionalidades relevantes para el proyecto.

Tabla 5.9 Comparación de las características de las alternativas de contactores.

Característica	Sirius 3RT2025-1AK6	TeSys-K LC1K06015B7	Eaton XTOB006BC1
Temperatura operación máxima (°C)	60	70	60
Corriente de operación (A)	7,7	6	6
Voltaje de bobina (V)	120	24	24
Vida útil (millones de ciclos)	10	30	10
Voltaje pico (kV)	6	8	8
Retraso máximo de cierre (ms)	38	40	47

Fuente: Elaboración propia.

En la siguiente matriz de ponderación se muestra el análisis realizado para determinar la mejor opción de las distintas marcas evaluadas.

Tabla 5.10 Matriz de ponderación de los distintos contactores.

Característica	Peso	Sirius 3RT2025-1AK6	TeSys-K LC1K06015B7	Eaton XTOB006BC1
Corriente de operación	9	2	5	5
Voltaje de bobina	3	3	5	5
Vida útil	6	4	5	4
Voltaje pico	7	3	4	4
Ponderación		92	138	117

Fuente: Elaboración propia.

La corriente de operación es la característica de mayor peso en la tabla 5.10, al ser un factor determinante en el correcto funcionamiento del motor. Los contactores evaluados en el proyecto tienen una corriente nominal superior a la corriente máxima del motor propuesto, que según se indica en [22], es de 5,6 A, por lo que el motor puede operar normalmente.

Luego se tiene el voltaje pico, que tiene un peso de 7 en la matriz, debido a que en el encendido del motor ocurran variaciones notorias del voltaje de alimentación, así como puede ocurrir mientras el motor esté operando, por lo tanto, el contactor deberá tolerar estos cambios en la línea de alimentación.

La vida útil es importante, ya que indica la durabilidad del contactor en función de su cantidad de operaciones. Esta característica se valoró con un peso de 6, porque establece el tiempo en que el contactor va a permanecer operativo de forma garantizada por el fabricante.

Finalmente, el voltaje de bobina que cuenta con un peso de 3, tiene una implicación en la función del contactor porque constituye un atributo que impacta en el diseño de la protección de los motores. Esto se debe a que el voltaje de bobina determina la forma en que se controla al contactor, estando la opción de operar a 120 V en corriente alterna, como en el caso del Sirius, o de realizar el control con una tensión de 24 V en corriente directa que alimentaría la bobina del contactor mediante el módulo de fuente de alimentación de Siemens.

Al considerar el rendimiento de las opciones en las características consideradas, se determinó que el contactor TeSys-K LC1K06015B7, es el que mejor cumple con lo requerido en el proyecto.

5.2.2 Disyuntor

El disyuntor se asigna para la protección del ramal completo del circuito, es decir, el módulo de control y el módulo de protección del motor, esto para poder manejar de forma manual el paso de corriente en caso de un cortocircuito o de mantenimiento del sistema de enfriamiento.

Tabla 5.11 Comparación de las características de las alternativas de disyuntores.

Característica	Schneider QO210	Siemens 5SY4210-7	ABB S202-K10
Corriente de corte (kA)	10	10	15
Temperatura ambiente máxima (°C)	40	70	55
Corriente nominal (A)	10	10	10
Número de polos	2	2	2
Protección del encapsulado	IP20	IP20	IP20

Fuente: Elaboración propia.

La evaluación de la idoneidad del dispositivo se realizó por medio de la matriz de ponderación de los aspectos clave necesarios en el proyecto, con distintos niveles de pertinencia asignado por los pesos dados a cada característica.

Tabla 5.12 Matriz de ponderación de los distintos disyuntores.

Característica	Peso	Schneider QO210	Siemens 5SY4210-7	ABB S202-K10
Corriente de corte	7	4	4	5
Temperatura ambiente máxima	3	3	5	4
Corriente nominal	8	5	5	5
Protección del encapsulado	4	3	3	3
Ponderación		89	95	99

Fuente: Elaboración propia.

La característica mejor valorada es la corriente nominal, la cual es la mayor corriente que permite el disyuntor sin cortar la corriente, la cual es muy importante para definir la cantidad de motores que puede proteger el disyuntor sin problemas. Además, si su corriente nominal es inferior a la corriente en que se va a operar va a realizar la desconexión antes de que los motores alcancen su corriente nominal. Para este proyecto se utilizaría un disyuntor por cada bloque de ventilación, que se compone de dos motores.

El siguiente factor en importancia es la corriente de corte, por su labor de actuar cuando la corriente alcanza valores muy elevados que podrían ocasionar daño permanente a los motores. Según se indica en [25], el dispositivo de protección debe tener la capacidad de conducir la corriente de arranque del motor.

Se le asignó un peso de 4 a la protección del encapsulado, debido a que los disyuntores se montarían en un riel DIN dentro del gabinete con protección IP66, esta característica no es un factor influyente en la evaluación.

Como característica menos importante, se consideró la temperatura ambiente máxima en la que el dispositivo trabajaría apropiadamente, ya que, aunque sí influya en la durabilidad del aparato, sus valores los que se requieren para soportar las condiciones típicas del lugar que se consideró el proyecto.

En la matriz de ponderación en la tabla 5.12, se observa que la mejor opción es el disyuntor ABB S202-K10, por su desempeño general en las distintas características.

5.2.3 Guardamotor

El guardamotor está diseñado específicamente para proteger a los motores de daños eléctricos y también soportan las elevadas corrientes eléctricas que se generan al encender un motor.

Tabla 5.13 Comparación de las características de las alternativas de guardamotors.

Característica	TeSys GV2ME14	Sirius 3RV2011-4AA10	ABB MS132-6.3
Corriente nominal (A)	10	16	6,3
Rango de ajuste (A)	6 a 10	10 a 16	4 a 6.3
Vida útil (ciclos)	100 000	100 000	100 000
Protección	IP20	IP20	IP20
Temperatura ambiente (°C)	-20 a 60	-20 a 60	-25 a 70
Corriente de disparo (kA)	138	208	100

Fuente: Elaboración propia.

La comparativa entre las opciones, realizada por distintos parámetros, permite efectuar una evaluación para seleccionar la opción más adecuada a lo que se requiere en el proyecto. La siguiente matriz de ponderación muestra la comparación de las alternativas.

Tabla 5.14 Matriz de ponderación de los distintos guardamotors.

Característica	Peso	TeSys GV2ME14	Sirius 3RV2011-4AA10	ABB MS132-6.3
Corriente nominal	8	4	4	5
Rango de ajuste	6	3	1	5
Vida útil	4	5	5	5
Temperatura ambiente	2	4	4	4
Corriente de disparo	5	4	3	5
Ponderación		98	81	123

Fuente: Elaboración propia.

El principal atributo evaluado es la corriente nominal, ya que representa un factor a considerar en el diseño del sistema de enfriamiento, por su efecto en la corriente a la que permite operar el motor.

El rango de ajuste, por otro lado, es importante debido a que la corriente de sobrecarga se debe ajustar al valor del motor elegido, que se presenta en distintos valores. De ahí que se le considere una característica con un papel destacado en el proyecto.

Según lo establecido en [25], la corriente nominal del dispositivo de protección contra sobrecarga no deber ser superior al 115% de la corriente de plena carga del motor. Por lo tanto, como la corriente de plena carga del motor elegido es de 4,2 A, la corriente de sobrecarga debe ser menor a 4,83 A. El guardamotor que se puede ajustar en ese valor de corriente de sobrecarga es el MS132-6.3.

El siguiente atributo, en orden de importancia, es la corriente de disparo, en la cual, el guardamotor realiza la desconexión para proteger al motor de corrientes excesivas.

La vida útil se incluyó en la matriz de ponderación, ya que es un factor que determina la capacidad del dispositivo a operar sin que se presenten fallas en su mecanismo interno. El peso atribuido a la vida útil se explica con los valores que muestran las 3 alternativas consideradas, porque su ponderación neta no es significativa en la evaluación realizada.

El menor peso en la matriz, lo tiene la temperatura ambiente de operación, ya que, al no presentar una diferencia significativa entre los guardamotores, no se consideró como un aspecto fundamental en el análisis planteado.

Tomando en cuenta los aspectos comentados, la opción que es más adecuada para el proyecto es el guardamotor de ABB MS132-6.3.

5.3 Descripción del hardware

En esta sección se va a presentar los diferentes componentes que forman parte del sistema de enfriamiento, así como sus detalles y su funcionamiento.

Se agrupó en módulos con base en la similitud de sus funciones en las partes del circuito. Se tienen 2 módulos, los cuales son: el módulo de control y el módulo de protección.

El diagrama de gabinete de la figura 5.4, se compone de: 1 Logo 12/24RC, 1 Logo! Power 24V, 2 módulos analógicos AM2, 1 módulo DM8, 2 disyuntores, 4 guardamotores y 4 contactores.

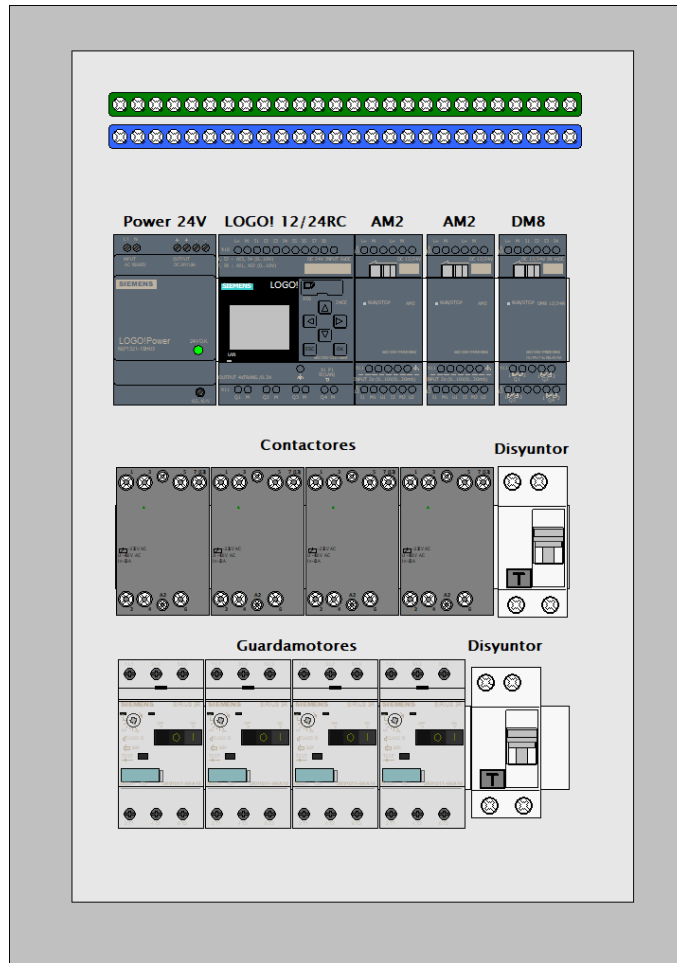


Figura 5.4 Diagrama del gabinete.
Fuente: Elaboración propia mediante Proficad.

5.3.1 Módulo de protección

La función de este módulo es controlar la activación del motor mediante el relé del PLC que se conecta al contactor, también debe brindar protección contra sobrecargas eléctricas para evitar daños eléctricos en el motor, causado por un cortocircuito en la línea o por un contacto a tierra.

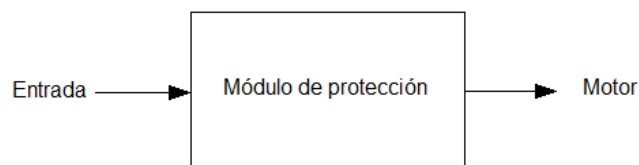


Figura 5.5 Módulo de protección.
Fuente: Elaboración propia.

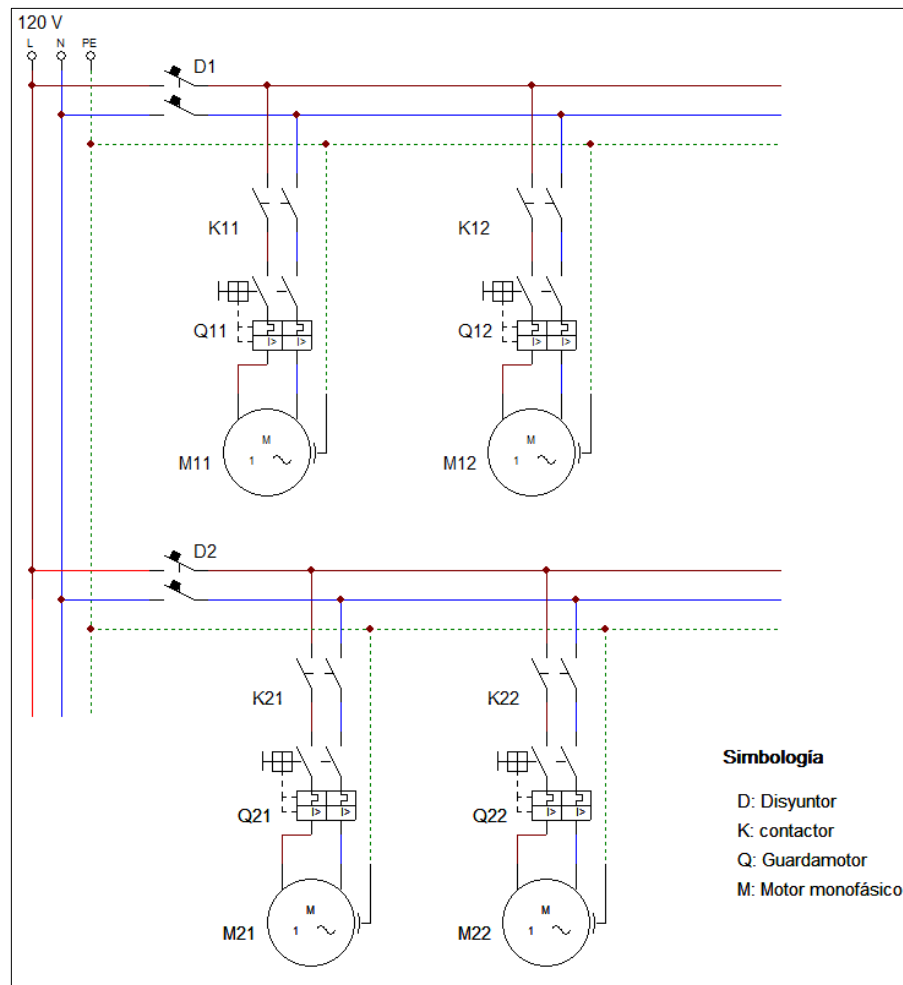


Figura 5.6 Esquemático del módulo de protección de los motores.
Fuente: Elaboración propia mediante CADe Simu.

El módulo de protección de los motores cuenta con 4 ramales, agrupados en 2 bloques de ventilación. Cada uno de los ramales está conformado por un contactor, un guardamotor y su respectivo motor, que se conectan en serie.

El bloque de ventilación está protegido por un disyuntor, que conecta la línea de alimentación con los ramales correspondientes. Está permitida la conexión de dos motores por cada ramal, debido a que cada motor tiene una corriente a plena carga menor a 6 A, como se establece en [25]. Además, los motores que se pueden conectar al ramal no deben tener una potencia nominal mayor a 1 hp, lo cual se cumple con los motores seleccionados [25].

La notación que se le asignó a los dispositivos de este módulo, está relacionada con el bloque de ventilación al cual pertenece y al número de elemento. Así, por ejemplo, Q1 representa al segundo guardamotor del bloque 1 de ventilación, o el disyuntor del segundo bloque se nombra como D2.

En la entrada se conecta la línea de 120V, a una terminal del disyuntor, el cual tiene una corriente nominal de 30A.



Figura 5.7 Disyuntor ABB S202-K10.
Fuente: baypower.com

Cada disyuntor se encarga de la protección de los dos motores, en cada bloque de ventilación. Posteriormente, se conecta el contactor que se encarga de la activación de los ventiladores y se controla con los relés del PLC.



Figura 5.8 Contactor Schneider LC1K0601B7.
Fuente: tme.com

El contactor tiene 3 terminales, en las que se conectan las fases de una línea trifásica, pero existe la opción de conectar las dos fases para operar de forma normal un motor monofásico, ya que la tercera entrada se conecta a la segunda salida. El voltaje del control de activación es de 24V en corriente directa.

Al presentar un montaje de riel DIN con un perfil de 35mm, el contactor se colocaría dentro del gabinete en el que se ubicaría el sistema de control, así como el resto de dispositivos del sistema de protección de los motores.

El guardamotor se encarga de desactivar la conexión al presentarse una sobrecarga en el motor, lo que puede provocar daños graves si se mantiene. Este lo integra un disyuntor magnético para evitar que se sobrepase la corriente nominal que tolera el dispositivo. Según está establecido en [25], esta corriente es 25% mayor a la corriente nominal del motor en carga completa.



Figura 5.9 Guardamotor ABB MS132-6.3.

Fuente: new.abb.com

El guardamotor se conecta en la línea de alimentación del motor para gestionar el arranque y la operación del motor mientras se encuentra en funcionamiento. Este aparato cuenta con un selector giratorio, con el que se selecciona la corriente de corte por sobrecarga del motor conectado.

5.3.2 Módulo de control

Este módulo se encarga de adquirir los datos de los sensores para evaluar si la condición ambiental hace necesario la activación del sistema de enfriamiento.

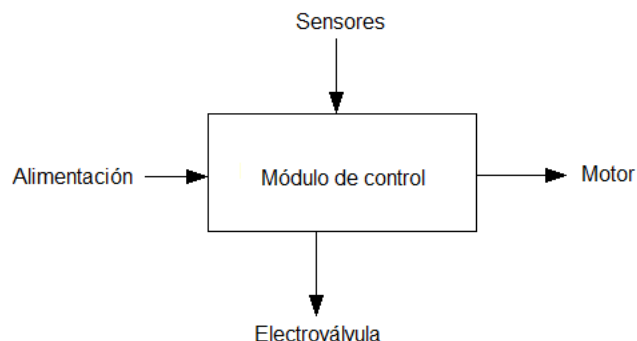


Figura 5.10 Módulo de control.

Fuente: Elaboración propia.

El módulo de control, se alimenta con un voltaje de 24 V en corriente directa, que se obtiene de la fuente Power 24V. Entre los componentes del bloque se incluyen dos sensores de temperatura y dos sensores de humedad relativa, utilizados para calcular el valor de ITH cada 10 minutos.

Además, el módulo cuenta con las bobinas de los cuatro contactores, los cuales se utilizan para controlar la activación de los dos bloques de ventiladores del sistema de enfriamiento. Para controlar la activación del riego con los nebulizadores, se utiliza una electroválvula de 24 V.

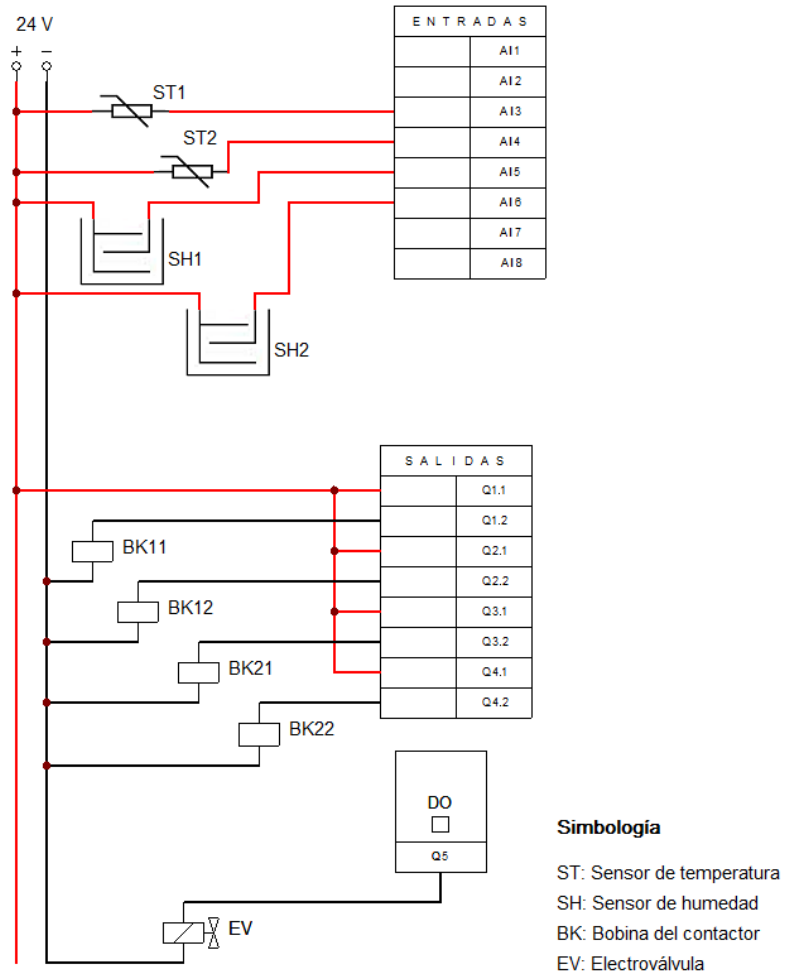


Figura 5.11 Esquemático del módulo de control.
Fuente: Elaboración propia mediante CADe Simu.

Se estableció una notación por número de elemento y número de bloque, para diferenciar los distintos componentes de cada bloque de ventilación. Así se tiene por ejemplo BK12, que representa la bobina del contactor 1 en el bloque de ventilación número 2. La notación se escogió para simplificar la lectura del diagrama eléctrico del proyecto.

La salida que controla a la válvula de solenoide se tuvo que conectar a un módulo de salida digital, debido a que todas las salidas del relé inteligente están conectadas a las 4 bobinas de los contactores.

5.3.2.1 PLC

El Logo 8 de Siemens cumple con los requisitos que se exigen en este proyecto, ya que cuenta con un módulo de entradas analógicas en el que se pueden conectar los diferentes sensores para recolectar los datos en distintos puntos estratégicos del recinto para obtener mediciones más confiables de las condiciones del ambiente, al promediar los datos recopilados por el PLC. Su tarea es la adquisición de datos provenientes de los sensores en las horas en que las vacas se encuentran en reposo en el establo para activar de manera adecuada los ventiladores y la electroválvula de los aspersores de agua.

Al tener un diseño modular, el Logo tiene la posibilidad de aumentar su capacidad de controlar más ventiladores al añadirle un módulo salidas digitales, así como se puede conectar un módulo de entradas analógicas para obtener más datos de una variedad de sensores. La limitación principal es la velocidad de procesamiento del controlador, por lo tanto, hay un límite en la cantidad de sensores y de ventiladores con los que puede operar el PLC.

Se conectará al módulo de alimentación, que tiene una salida de 24VDC, que además podrá alimentar la electroválvula al ser activada.

5.3.2.2 Fuente de alimentación Power 24V

La fuente de alimentación de Siemens tiene la tarea de convertir los 120V de entrada en los 24V en corriente directa al que operan el PLC, los sensores y la electroválvula.



Figura 5.12 Módulo Siemens Power 24V.

Fuente: www.automation24.es

Se conecta la línea en las entradas L1 y N, y se pueden usar 2 salidas de 24V, cada una con una positiva y otra negativa. Según [5], la fuente es capaz de entregar una corriente de 2,5 A.

5.3.2.3 Módulo de entradas analógicas AM 2

Este módulo sirve para expandir las entradas del PLC, ya que el Logo 12/24RC solo cuenta con entradas digitales, y estas no son compatibles con el uso de los sensores de humedad y temperatura. Por lo que se vuelve necesario incluir el módulo AM 2, para lograr la conexión con los sensores.

La lógica en que opera es de 10V, el mismo voltaje en que se obtienen los datos de los sensores.



Figura 5.13 Módulo de entradas analógicas AM 2.

Fuente: www.automation24.es

La conexión con el Logo 12/24RC se realiza mediante el mecanismo de pines, los cuales se unen al montar el módulo de extensión al lado del PLC. Esta forma de conexión presenta una transmisión estable y veloz de los datos recolectados por el módulo AM2 hacia el módulo básico [5].

Cada una de las entradas del módulo de extensión cuentan con dos terminales, a las cuales se conectan los sensores analógicos que se utilizarán para obtener las mediciones de la condición ambiental de la estructura.

El consumo máximo de corriente del dispositivo es de 50 mA, así como su potencia máxima disipada por su circuito es de 1,2 W. El módulo presenta protección contra inversión de polaridad, lo cual evita que un mal funcionamiento del sistema ocasiona daños al cambiar la dirección de la corriente eléctrica [5].

Las entradas tienen una resolución de 10 bits, según [5], es decir, puede tomar 1024 distintos valores, lo que permite una buena lectura de los sensores.

5.3.2.4 Sensor de humedad

Este sensor estará realizando la medición de la humedad relativa dentro del establo en el lapso de tiempo en que las vacas se hallan en el establo, para monitorear las condiciones ambientales y detectar si se puede producir el estrés calórico.

Los datos recolectados de este sensor se procesarán en el Logo 12/24RC, en combinación con los datos del sensor de temperatura para evaluar las condiciones periódicamente en el intervalo de tiempo en que las vacas descansan en el establo.

Se utilizarán dos sensores KHR3-T21, los cuales cuentan con la precisión y el rango de medición requeridos para obtener las mediciones en el establo, que alcanza valores altos de humedad relativa debido a la aspersión de agua que se aplicaría.

5.3.2.5 Sensor de temperatura

El sensor se colocaría en diferentes ubicaciones del establo a una altura de 3 metros desde el suelo, según lo que se menciona en [27], debido a que el aire frío desciende por su densidad mayor a la del aire cálido, es decir la temperatura al nivel del suelo es menor. Con esto se asegura que la temperatura experimentada por el ganado no supere la temperatura límite de estrés calórico.

En la figura 5.12, se muestra un gráfico de la temperatura registrada en Fortuna mediante una estación meteorológica el 12 de abril de 2020, que muestra el comportamiento de la temperatura en un día típico que se espera obtener con el sensor.

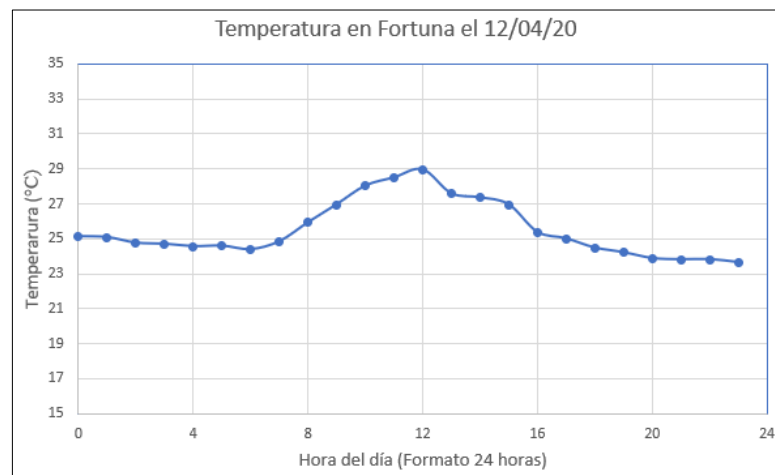


Figura 5.14 Gráfico de temperatura vs hora del día en la Fortuna, San Carlos.
Fuente: Elaboración propia con datos de www.imn.ac.cr/especial/estacionfortuna.html

5.3.2.6 Ventilador

Los ventiladores tienen parámetros que se deben considerar en la implementación de proyecto. En [22], se detalla que la tira del ventilador describe la distancia en la que la velocidad del aire proporcionado por el ventilador es de 0,5 m/s. Este factor es determinante en la distancia que debe haber entre los ventiladores.

Para el modelo seleccionado la tira es de 80 m, por lo que el ventilador se considera como la opción adecuada para efectuar la ventilación del establo.

Otro factor importante es el caudal de aire que el ventilador genera por minuto, en el caso del ventilador de cesta elegido, del modelo K6E71K0 [22], tiene un caudal de 14 395 m³/h, que, si se obtiene la relación entre potencia y caudal, se obtiene un valor de 31,2 W/m³/hora, lo cual demuestra su eficiencia de energética.

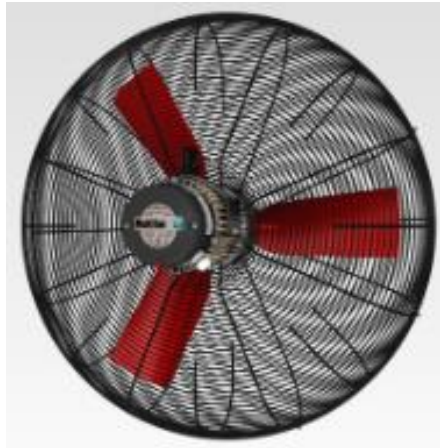


Figura 5.15 Ventilador K6E71K0 de la marca Multifan [22]

Los ventiladores de cesta son adecuados para instalarlos en sitios bajo techo, como los son los establos, ya que su estructura permite una fácil instalación [22].

5.4 Descripción del software

Se determinó que el sistema de enfriamiento esté apagado en las horas en la que el ganado no se encuentra en el establo, para evitar el gasto innecesario de energía eléctrica. Al ser las 8:00 am, se empiezan a trasladar desde los repastos al sitio de descanso para alimentarlas, van a permanecer en el establo hasta las 2:00 pm, pero es probable que ocurran retrasos en las horas de ingreso y salida, por lo que se contempla la hora como condición para realizar la activación del sistema de enfriamiento, además de estar en función del ITH que causa el estrés calórico.

Se debe tomar en cuenta el diagrama de flujo del sistema para solucionar el problema del estrés calórico, el cual se muestra a continuación.

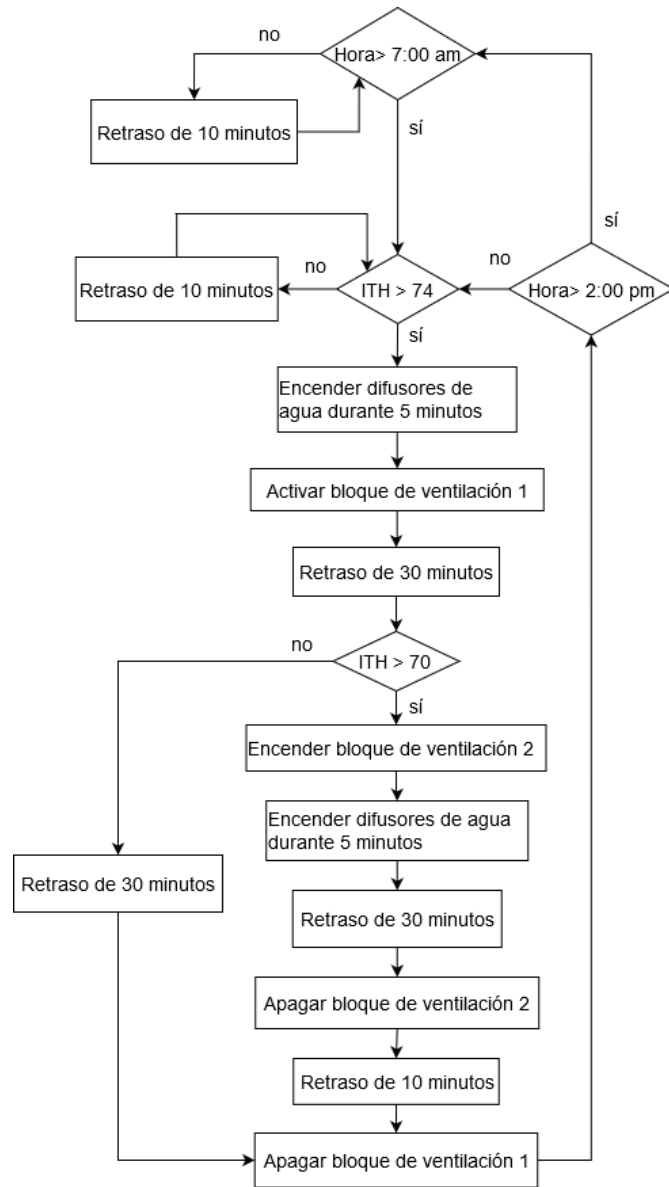


Figura 5.16 Diagrama de flujo del sistema de control.
Fuente: Elaboración propia mediante diagrams.net.

Si se detecta que el ganado se encuentra en las condiciones de estrés calórico, se activa el sistema de enfriamiento de forma progresiva y repitiendo los ciclos de ejecución en caso de ser necesario, en días muy calurosos, especialmente en el verano, en que se pueden detectar temperaturas de 29°C, como se muestra en la figura 5.12.

Para establecer la condición del intervalo de tiempo que el control va a recibir las medidas de los sensores, se decide utilizar el reloj interno del Logo, el cual tiene una desviación máxima de 2 segundos por día [5]. La hora que se inicia a obtener los datos de las mediciones es a las 7:00 am, debido a que el ingreso del ganado al establo puede efectuarse más temprano que la hora habitual.

La hora en que se termina de obtener las mediciones, se considera que debe ser a las 2:00 pm, para evitar que el sistema de enfriamiento se active cuando las vacas no se encuentren dentro del establo. Aunque se consideró el caso de que se prolongue la estadía de las vacas en el establo, por lo que si se realizó la activación del sistema de enfriamiento en el lapso desde la 1:30 pm a las 2:00 pm, el sistema permanecerá activo aún después de la hora de salida establecida.

Luego, se activa la medición de los sensores mediante las entradas analógicas que van a estar recibiendo los datos. Estos datos son procesados para obtener las medidas de temperatura y humedad. Luego se realiza el cálculo de ITH para determinar si el valor es superior a 74.

En caso de que se detecte el ITH mayor a 74, se activa el relé que está conectado a la electroválvula, con un temporizador se establece que se mantenga encendido por 5 minutos, para luego activar el relé conectado con la bobina del contactor para encender el ventilador por 30 minutos sin desactivarlo.

Seguidamente, se determina si el ITH es inferior a 70. En caso de que se cumpla esta condición, se mantiene encendido el ventilador por 30 minutos adicionales. Esto se decidió para disminuir la cantidad de arranques ejecutados al día, evitando un consumo elevado de potencia que se tendría con el arranque repetitivo de los mismos.

En caso de que el ITH sea mayor a 70, se activan los dos ventiladores del segundo bloque de ventilación, inmediatamente después se activan los nebulizadores durante 5 minutos. Al pasar 35 minutos desde su activación, se realiza la desactivación del bloque de ventilación 2, y 10 minutos después se apagan los ventiladores del primer bloque de ventilación.

Al finalizar el ciclo, se vuelve al ciclo de las mediciones ambientales, que se evalúan cada 10 minutos para verificar si se da la condición de activación del sistema de enfriamiento.

Capítulo 6: Análisis de resultados

Se realizó una simulación del control del sistema en CADe Simu, para verificar el algoritmo diseñado para lograr el enfriamiento del ganado. En este programa se tiene un PLC Logo que se puede programar con diagramas de bloques en la misma ventana del esquemático que se va a simular.

El modelo de prototipado del sistema de control se implementó mediante el uso de un Arduino Uno, el cual simula el funcionamiento del algoritmo diseñado como solución al problema del estrés calórico.

6.1 Resultados

En la simulación que se realizó en CADe Simu, para representar la detección de las condiciones de estrés calórico se utilizó dos pulsadores del tipo normalmente abierto, los cuales simulan la detección de distintos valores de ITH, uno de los cuales es el valor límite donde se produce el estrés calórico y el otro valor considerado es el ITH de 70, el cual se establece para prevenir que se alcancen valores cercanos a 74.

El tiempo de activación del ventilador y de la válvula de solenoide se escalaron a segundos en vez de minutos, para efectos prácticos en la simulación del sistema de enfriamiento.

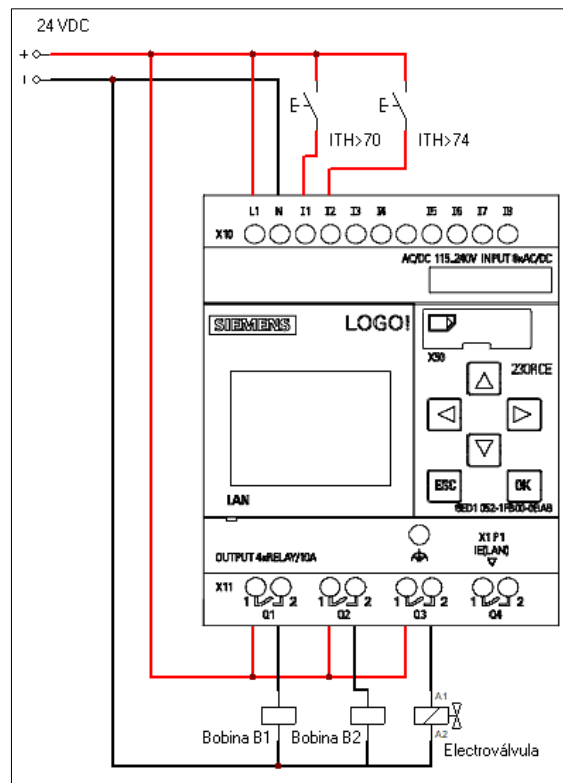


Figura 6.1 Circuito de control de la simulación del sistema de enfriamiento. Fuente: Elaboración propia mediante CADe Simu.

El circuito de control cuenta con dos bobinas y una válvula de solenoide en la salida. La válvula de solenoide se enciende al inicio del ciclo, para realizar el rociado del agua, la cual después sería evaporada con ayuda de la ventilación forzada.

La bobina B1 se encarga de activar el contactor B1, los mismos pertenecen al primer bloque de ventilación que se activa inicialmente en el sistema y se mantiene en caso de lograr la disminución del ITH a un valor de 70.

La bobina B2 tiene la función de activar el contactor del bloque 2 de ventilación, que sirve de refuerzo al bloque 1 para efectuar una ventilación más agresiva para obtener un descenso de la temperatura de forma más eficaz, con la dispersión de agua por 5 minutos en un mismo ciclo de enfriamiento.

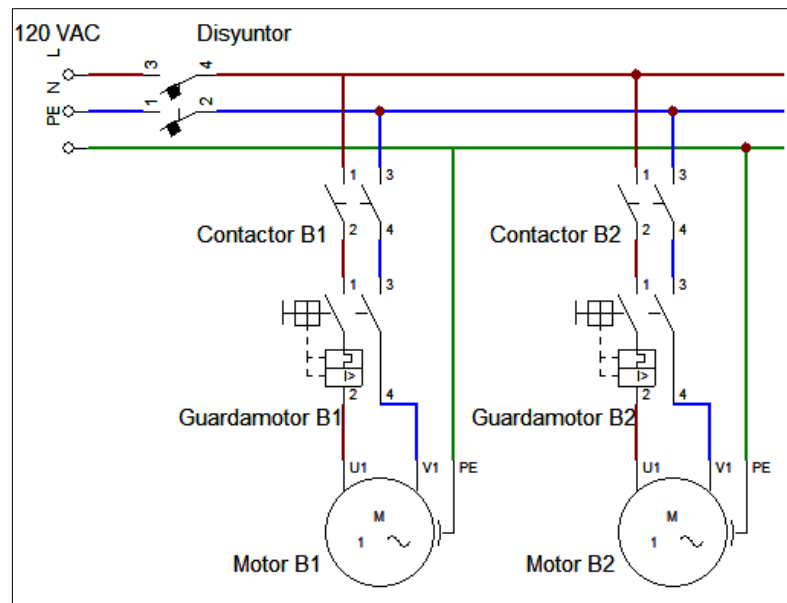


Figura 6.2 Circuito de fuerza de la simulación del sistema de enfriamiento.
Fuente: Elaboración propia mediante CADe Simu.

El circuito de fuerza se alimenta con 120 V, en la línea se conecta un disyuntor que tiene la tarea de realizar la desconexión en caso de que la corriente supere la corriente permitida por unos segundos. Luego en cada bloque se conecta primero el contactor que se activa con una de las bobinas conectas a la salida del PLC.

Cada bloque cuenta con un motor, que representa a los dos ventiladores que se utilizarían para efectuar el enfriamiento en función de las condiciones ambientales medidas, que luego se utilizan para calcular el ITH.

Se utilizaron bloques lógicos, así como varios temporizadores de conexión y desconexión para programar la rutina del sistema de control en la simulación.

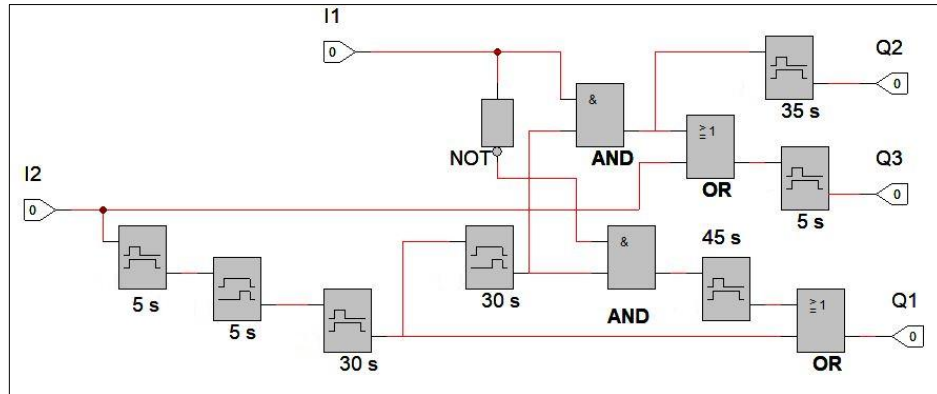


Figura 6.3 Diagrama de bloques lógicos de la simulación.
Fuente: Elaboración propia mediante CADe Simu.

En primer lugar, se tiene la entrada I2, que representa la condición de ITH superior a 74, la cual se activa si se detecta la condición. En caso de que se active únicamente la entrada I1, es decir, la condición de ITH mayor a 70 no se activa el ciclo de enfriamiento, debido a que lo que se requiere es evitar el estrés calórico que se da con el ITH superior a 74.

Si se activa I2, se inicia con el encendido de Q3, que es la salida conectada a la electroválvula de los dispersores de agua, esta se mantiene activa por 5 segundos. Luego de eso se activa el motor del bloque 1, conectado a la salida Q1, durante 30 segundos. Si la entrada I1 se mantiene desactivada, el motor sigue en funcionamiento 30 segundos adicionales.

En el caso contrario, si la entrada I1 se encuentra activada, que significa que se obtiene un ITH superior a 70, se procede con la activación de la válvula de solenoide durante 5 segundos. También el bloque 2 de ventilación, en la salida Q2, es activado durante 35 segundos. Luego de apagarse Q2, se mantiene el bloque 1 activado por 10 segundos más, para finalizar el ciclo de enfriamiento.

De forma complementaria a la simulación, se realizó un prototipo físico del sistema de control, utilizando un Arduino Uno para programar una rutina para simular el funcionamiento del sistema de enfriamiento.

El relé realiza la función del contactor, activando y desactivando el ventilador. El led representa la activación de los dispersores de agua. La tarea del DHT es obtener los datos de temperatura y humedad cada 10 segundos para determinar si se ejecuta la rutina de enfriamiento, que puede durar entre 65 segundos y los 80 segundos, lo cual depende del ITH del ambiente.

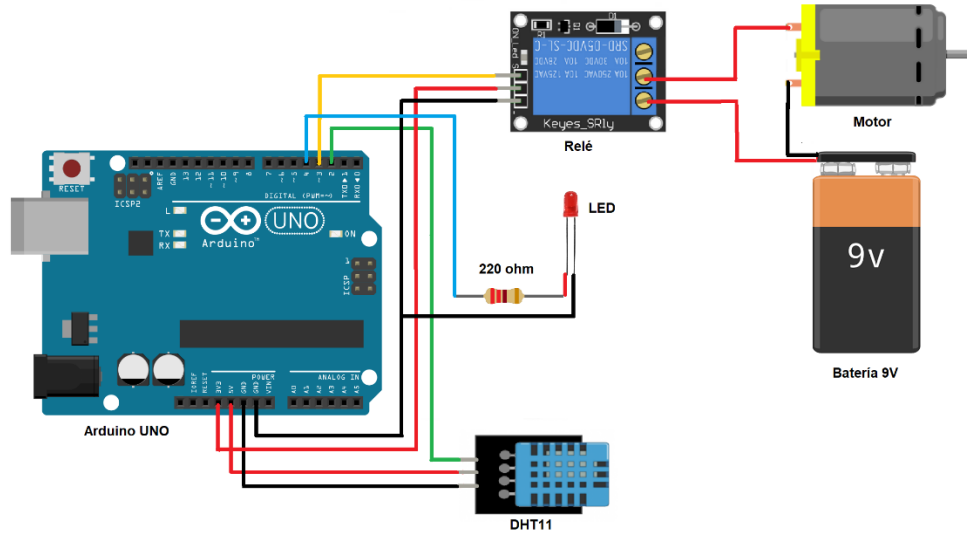


Figura 6.4 Diagrama eléctrico del prototipo.
Fuente: Elaboración propia.

Se hizo un conjunto de mediciones de humedad relativa y temperatura cada 2 segundos en un intervalo de tiempo de 1 minuto, para observar el comportamiento de las mediciones realizadas con el sensor en distintos casos de prueba.

Al inicio de las pruebas, se realizaron mediciones de referencia, para obtener los datos del ambiente mediante el sensor. Para el segundo caso de prueba, el sensor se estuvo rociando con agua mediante un atomizador, para determinar su comportamiento al presentarse un aumento de la humedad relativa.

En el tercer caso, se colocó el sensor frente al ventilador encendido, para observar la variación que ocurre en las mediciones de temperatura y humedad relativa.

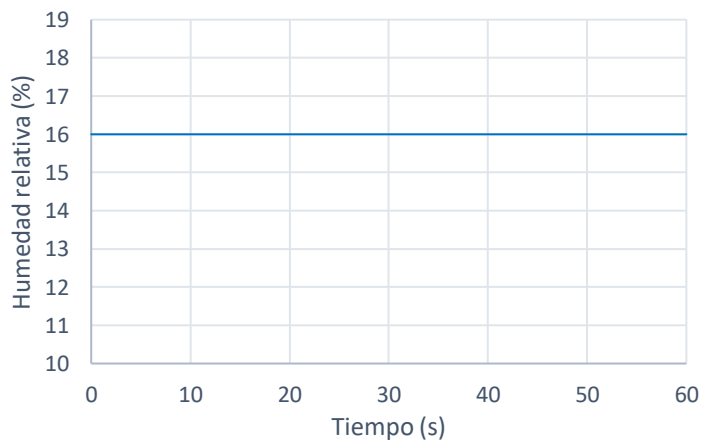


Figura 6.5 Medición de referencia de la humedad relativa.
Fuente: Elaboración propia.

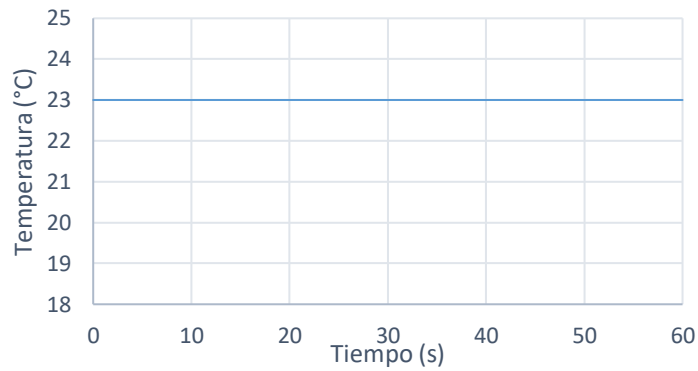


Figura 6.6 Medición de referencia de la temperatura.
Fuente: Elaboración propia.

Se utilizó un rociador para emular el comportamiento de los aspersores de agua del sistema de enfriamiento, que llena el aire de pequeñas gotas de agua. Las mediciones adquiridas se muestran en las figuras a continuación.

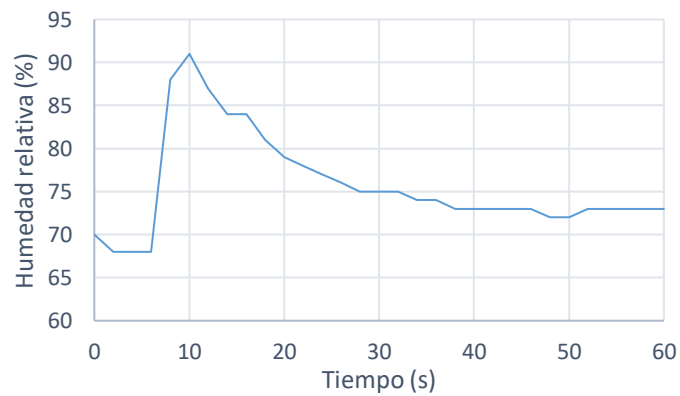


Figura 6.7 Medición de humedad relativa al dispersar agua con atomizador.
Fuente: Elaboración propia.

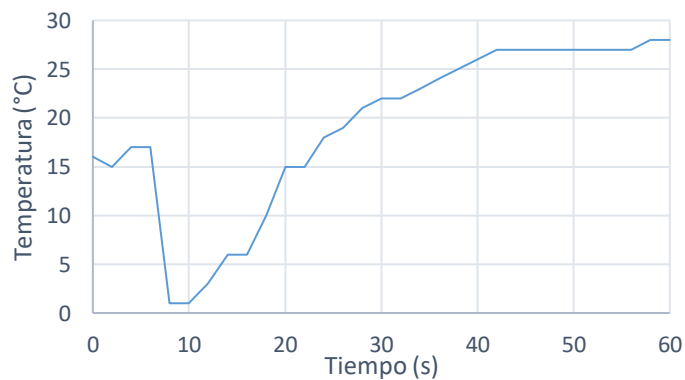


Figura 6.8 Medición de temperatura al dispersar agua con un atomizador.
Fuente: Elaboración propia.

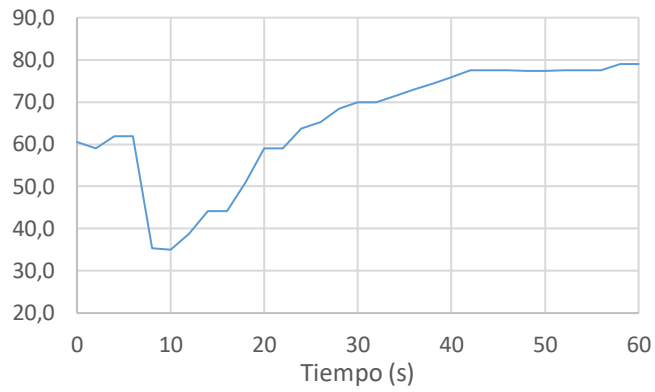


Figura 6.9 Cálculo de ITH al rociar agua con un atomizador.
Fuente: Elaboración propia.

Posteriormente se encendió el ventilador, su dirección de viento se mantuvo hacia el sensor durante el lapso de la medición. Los datos adquiridos en forma gráfica en las siguientes figuras.

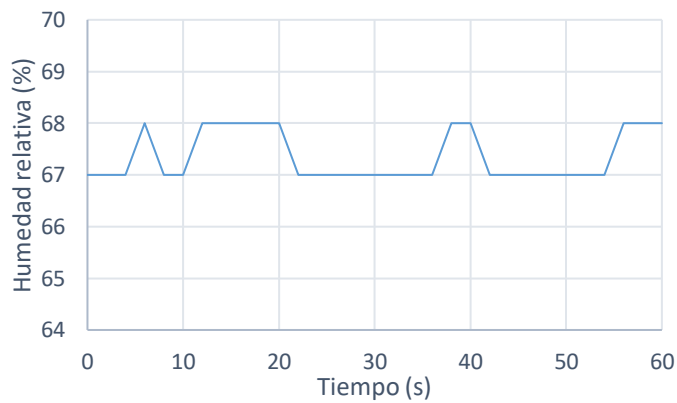


Figura 6.10 Medición de humedad relativa al aplicar ventilación forzada.
Fuente: Elaboración propia.

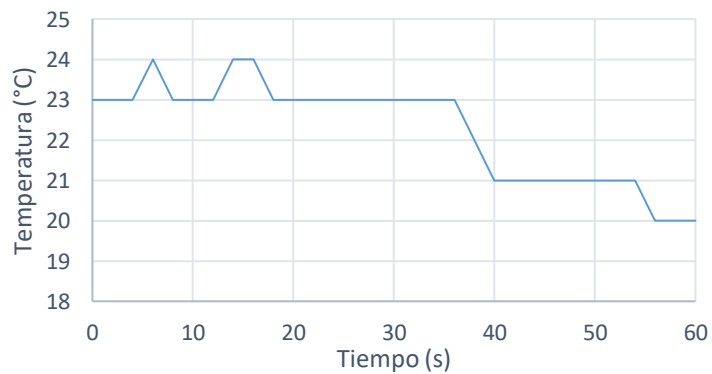


Figura 6.11 Medición de temperatura al aplicar ventilación forzada.
Fuente: Elaboración propia.

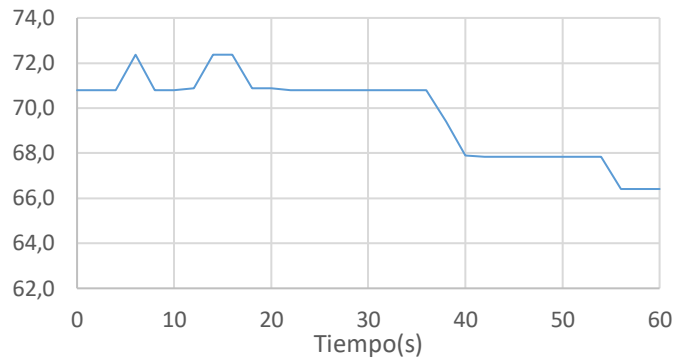


Figura 6.12 Cálculo de ITH al emplear la ventilación forzada.
Fuente: Elaboración propia.

Se observa el comportamiento estable de las mediciones de humedad y temperatura cuando no se aplica ventilación ni se rocía agua en el sensor. Luego de aplicar agua con el atomizador se presenta un cambio abrupto de la humedad relativa para después estabilizarse en un valor ligeramente superior al iniciar, en cambio la temperatura sí cambia de forma más notoria, con un aumento de 12°C con respecto a la temperatura al inicio. Al observar la figura 6.9, se percibe un aumento del ITH por encima del límite de estrés calórico, el cual es de 74, debido a que la temperatura se incrementó.

Al activar el ventilador, se produjo una fluctuación de la humedad relativa medida por el sensor en el rango de 67%-68%, que es ocasionado por el tiempo de respuesta, que según [28], tiene un valor mínimo de 6 segundos en las mediciones de temperatura y humedad relativa. Además, como se indica en [28], la incertidumbre de la medición de humedad es de $\pm 5\%$, y de $\pm 2^{\circ}\text{C}$ para la medición de temperatura.

La temperatura tuvo un descenso efectivo, según se observa en la tabla 6.11, con una variación de 3°C . Además, como se observa en la figura 6.12, se tiene la disminución del índice en el rango que permite el confort térmico de las vacas, llegando a un valor final de 66 aproximadamente.

6.1.1 Estudio de prefactibilidad del proyecto

Para determinar la rentabilidad de un proyecto, se debe analizar el flujo neto de efectivo. Este dato se calcula con los ingresos adicionales que se proyectan con la implementación del sistema automatizado de enfriamiento, así como los gastos de operación a los que incurre por conceptos de factura eléctrica y el consumo de agua.

6.1.1.1 Ingresos obtenidos por la venta de leche

Los ingresos que se tienen con la puesta en marcha del proyecto se deben al aumento esperado de leche que se tendría debido al sistema de enfriamiento.

Se proyecta un crecimiento de la producción láctea con respecto a lo que se obtiene cuando las vacas sufren de estrés calórico, con una referencia obtenida en un estudio realizado en México [16], que tiene un valor de 0,9 litros por vaca por día. Este incremento de productividad láctea se mapea al valor mensual que se tendría con las 50 vacas del establo que serían tratadas con el sistema de enfriamiento.

El cálculo que se realizó para obtener precio de compra de la cooperativa Dos Pinos a los productores asociados, se obtuvo de [29], que afirma que en Costa Rica se produce un total de 1,4 millones de litros de leche al día, que, si se convierte en su valor anual, se tiene una producción de 511 millones de litros, además agrega que el costo de la compra de esa cantidad de leche es de 180 000 millones de colones. Con los datos mostrados, el cálculo del precio de compra que se obtuvo da un total de 370 colones por litro.

Tabla 6.1 Análisis de las ganancias proyectadas con el sistema de enfriamiento.

Aumento de producción diaria por vaca (litros)	0,9
Cantidad de vacas en el establo	50
Incremento mensual total (litros)	5850
Ganancia obtenida por mes (colones)	499 315

Fuente: Elaboración propia.

El total de ingresos anuales por la venta de leche incrementada al implementar el sistema de enfriamiento es de $\text{¢}5\,991\,780$, cuyo valor se obtuvo al considerar un ingreso mensual constante de $\text{¢}499\,315$ durante todo el año.

6.1.1.2 Costos de la factura eléctrica

El gasto por consumo eléctrico por el sistema de enfriamiento y el control diseñado se asumió con la activación diaria de los ventiladores y el mecanismo de aspersión de agua, ejecutando dos ciclos diarios en las horas de mayor temperatura, cuando las vacas están en la sala de descanso.

La tarifa eléctrica por kWh del servicio brindado por Coopelesca [30], es de $\text{¢}2\,136$, en el rango de consumo de 0 a 30 kWh, y al sobrepasar los 30 kWh se paga 71,2 colones por la energía adicional.

La cantidad de horas de operación cada dispositivo, se estimó con el tiempo que espera que permanezca el dispositivo en funcionamiento en cada ciclo de enfriamiento. Las rutinas de enfriamiento que se consideraron son los que duran 1,25 horas por ciclo, es decir cuando el ITH calculado es mayor a 70, debido a que San Carlos es una región calurosa y húmeda, lo cual propicia que se supere la condición del límite inferior.

Para determinar la potencia que se pierde en los distintos dispositivos, como lo son, el guardamotor y el disyuntor, se asume el valor máximo de disipación que se da en las hojas de datos.

Tabla 6.2 Evaluación del gasto mensual por consumo eléctrico del sistema.

Dispositivos	Tiempo activo neto (horas diarias)	Potencia (W)	Consumo diario(kWh)	Costo por mes (colones)
1 electroválvula	0,33	8	0,00264	140,976
4 ventiladores	5,823	460	2,67858	143 036,17
1 Logo 12/24RC	24	1,8	0,0432	2 768,256
1 POWER 24V	24	20,4	0,4896	31 373,568
Módulos del PLC	24	1,2	0,0288	1 845,504
4 sensores	1,25	1,92	0,0024	153,792
4 contactores	5,823	4,7	0,0273681	1 461,45654
2 disyuntores	3,66	6,3	0,023058	1 231,2972
4 guardamotores	5,823	4,6	0,0267858	1 430,36172
		Total	3,27	180 779,72

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 6.2, se observa que los dispositivos que tienen un mayor efecto en la potencia calculada son los 4 ventiladores, y la fuente de alimentación, que presenta una eficiencia de aproximadamente el 80% de la potencia en la entrada, la cual es de 102W, lo cual significa que se disipa una potencia de 20,4W [5].

El tiempo activo neto, representa las horas totales en que funciona los dispositivos de un tipo, así por ejemplo si cada disyuntor está activo 1,83 horas, el valor neto de tiempo de activación para dos disyuntores es de 3,66 horas.

6.1.1.3 Costos de la factura de agua

El gasto por consumo de agua no representa un valor significativo, debido a que los nebulizadores no operan por períodos extensos en cada ciclo. Se estimó que el riego se realiza 25 días por mes en promedio, y que el tiempo de funcionamiento diario es de 20 minutos, considerando la activación del sistema de enfriamientos 2 veces por día. Se considera el caudal de cada boquilla de nebulizador, la cual es de 40 litros por hora, es decir, su caudal es 0,67 litros por minuto.

La tarifa de agua, brindada por AyA [31], es de $\$357$ por m^3 , cuando el consumo está en el intervalo de 0 a $50 m^3$. En caso de consumir un volumen mayor, hasta los $100 m^3$, el costo adicional tendría una tarifa de $\$324$.

Tabla 6.3 Evaluación del gasto mensual por consumo de agua.

Tiempo activo por día (minutos)	20
Caudal por boquilla (litros por minuto)	0,67
Agua consumida por mes (m ³)	0,335
Costo mensual (colones)	137,015

Fuente: Elaboración propia.

La cantidad de boquillas de nebulizador propuestas es de 10 unidades, por ende, cada nebulizador se encargaría de rociar el agua sobre 5 vacas en un radio de 3 m. Por ese motivo el agua consumida contempla el consumo de las 10 boquillas.

Es claro, que el rubro de consumo de agua, tiene poco valor, ya que, en un año, se tendría un gasto de ¢1644. Pero se deben tomar en cuenta todos los gastos que se tienen por la operación del proyecto.

6.1.1.4 Valor de la inversión del proyecto

La inversión inicial contempla la compra de los dispositivos necesarios para implementar el proyecto, así como las eventualidades y la mano de obra que se requiere para la instalación del mismo.

Tabla 6.4 Cotización del sistema automatizado de enfriamiento.

Dispositivo	Cantidad	Precio unitario (colones)	Precio total (colones)
Logo 12/24RC (Siesa)	1	66 044,56	66 044,56
Logo AM2 (Siesa)	2	53 646,24	107 292,48
Power 24V (Siesa)	1	20 568,48	20 568,48
Logo DM8 24R (amazon)	1	82 928,00	82 928,00
ABB S202-K10 (amazon)	4	38 450,56	153 802,24
Schneider LC1K0601B7 (amazon)	4	19 083,22	76 332,88
ABB MS132-16T (amazon)	2	55 480,00	110 960,00
Ventilador K6E71K0 (amazon)	4	280 705,44	1 122 821,76
Gabinete Eldon MAS0504026R5 (Siesa)	1	75 044,00	75 044,00
Riel DIN perfil 35mm (Siesa)	2	1 798,72	3597,44
Sensor Futura FTS-1 (Siesa)	2	64 753,92	129 507,84
Sensor de humedad KHR-T81 (Siesa)	2	131 984,00	263 968,00
		Subtotal	2 212 867,68
Eventualidades y otros			221 286,77
Mano de obra			2 000 000
		Total	4 434 154,45

Fuente: Elaboración propia.

Los datos que se encuentran entre paréntesis en la columna de productos especifica el proveedor donde se consultó del dispositivo. Para la cotización del proyecto se consideraron proveedores extranjeros. Por lo que el costo definitivo del sistema automatizado puede variar si se cotizan los productos únicamente con empresas nacionales.

El costo de las eventualidades se toma en cuenta, debido a que pueden suceder eventos imprevistos que aumentan el gasto para implementar el proyecto, por lo que se considera necesario en el presupuesto realizado. En ese mismo rubro se incluye el costo de los productos de menor costo en el presupuesto, como lo son: las tapas de borneras, bornes, los manguitos prensa cables, el fondo falso, una barra tierra, entre otros.

El costo de la mano de obra se justifica con la dimensión del establo propuesto en proyecto, aumenta la complejidad de instalación, ya que se requiere que el montaje se realice de la forma metódica y siguiendo las normas de [25]. También se debe considerar el tiempo requerido para diseñar el control del sistema y el plano eléctrico.

6.1.1.5 Resultados del estudio de prefactibilidad

Según [32], el VAN (valor actual neto), sirve para comparar la inversión inicial con las ganancias netas en los períodos futuros que se esperan obtener convertidos al valor presente, para que un proyecto sea económicamente viable, el VAN deberá tener un valor positivo.

El TMAR (tasa mínima de aceptable de rendimiento), como se muestra en [32], se calcula con la inflación (f) y el premio al riesgo (i), mediante la fórmula:

$$\text{TMAR} = i + f + i \times f \quad (6.1)$$

$$\text{TMAR} = 10\% - 0,24\% - 0,24\% \times 10\% = 9,74\% \quad (6.2)$$

El resultado del TMAR es de 9,74%, con la inflación del país, que según [34] es de -0,24% en junio del 2020. El premio al riesgo considerado es del 10%, porque como se explica en [32], es un porcentaje que compensa los efectos inflacionarios en la inversión que se realiza.

El costo de la inversión inicial del proyecto es de ¢4 434 154. Para determinar el costo se considera la compra de los productos del control automatizado y el sistema de enfriamiento, además del costo de la mano de obra para su instalación y programación.

Los gastos considerados son los que se incurren por el consumo eléctrico del sistema de enfriamiento y el agua que se requiere para realizar la aspersión del agua. El gasto mensual se valora en ¢180 916, por lo tanto, al multiplicarlo por 12, se tiene que el total del gasto anual es de ¢2 171 002.

Para calcular el flujo de efectivo anual, se debe el costo anual de operación del proyecto al ingreso que se proyecta percibir por la venta de leche en un año, que es de ¢5 991 780. El valor obtenido se muestra a continuación.

$$FNE = \text{ingresos} - \text{gastos} \quad (6.3)$$

$$FNE = \text{¢}5\,991\,780 - \text{¢}2\,171\,002 = \text{¢}3\,820\,777 \quad (6.4)$$

Para elaborar la tabla 6.5, se utilizó un valor del flujo neto de efectivo de ¢3 820 777, sobre el cual se realizó la conversión al valor presente en los 5 años del análisis, utilizando la TMAR calculada con anterioridad.

Tabla 6.5 Análisis de VAN del proyecto en 5 años plazo.

Año	Flujo de efectivo a valor presente (colones)	Valor actual neto (colones)
0	-4 434 154	-4 434 154
1	3 481 664	-952 491
2	3 172 648	2 220 157
3	2 891 059	5 111 215
4	2 634 462	7 745 677
5	2 400 640	10 146 317

Fuente: Elaboración propia.

El VAN se obtiene sumando los valores del flujo de efectivo a valor presente. Según se muestra en la tabla 6.5, la ganancia se incrementa anualmente, hasta alcanzar un valor actual neto de ¢10 146 317 en el quinto año. Este es el valor considerado en el estudio de prefactibilidad.

También se calculó el valor del TIR (tasa interna de retorno), el cual dio como resultado un valor de 81,83%. Debido a que el valor del TIR es mucho mayor al TMAR del proyecto, la ganancia se recupera en un plazo menor al considerado en el análisis. Según se observa en la tabla 6.5, se tardarían 2 años para obtener una ganancia neta superior al monto de la inversión, dando un valor de ¢2 220 157.

La función del ROI (retorno sobre la inversión), según [33], es evaluar las ganancias después de un período establecido, adquiridas al realizar una inversión. Para calcularlo se usa la siguiente fórmula:

$$ROI = \frac{\text{ganancia} - \text{inversión}}{\text{ganancia}} \quad (6.5)$$

Para realizó el cálculo del ROI con el valor de la ganancia neta (VAN) correspondiente al quinto año, así como con la inversión inicial del proyecto, para determinar la viabilidad provisional si este se implementara.

$$ROI = \frac{\text{¢}10\,146\,317 - \text{¢}4\,434\,154}{\text{¢}10\,146\,317} = 56,30 \% \quad (6.6)$$

6.2 Análisis de resultados

El sistema diseñado para el enfriamiento de las vacas, se considera como una alternativa factible, ya que la ganancia neta estimada en 5 años, es de ¢10 146 317. También se determinó que, en caso de realizar la instalación del sistema en proyecto posterior, se espera obtener un retorno de inversión de 56,30%.

Al considerar que la TMAR del proyecto, el cual es de 9,74 %, representa un valor muy por debajo de la tasa interna de retorno, que resultó en un 81,83%. Por lo que, se estima que el proyecto presenta rentabilidad económica para una ganancia considerable con su implementación en el establo.

Las pruebas de campo en el establo no se pudieron realizar, debido a que no se obtuvo la financiación para la compra de elementos del sistema de enfriamiento y los dispositivos de control automatizado, por lo que se realizó un prototipo con la plataforma Arduino que simula el sistema físico que se propuso implementar.

En el prototipo, el Arduino obtiene los datos de forma estable, pero al rociar el sensor con agua, se presentaron cambios rápidos de temperatura y humedad relativa, que luego se estabilizan en un valor fijo. El problema de medición se debe a la incertidumbre del sensor DHT11, lo cual dificulta la obtención de mediciones precisas al haber un cambio repentino de humedad relativa causado por el atomizador de agua.

El programa diseñado con un algoritmo basado en el diagrama de flujo del proyecto, el mismo se desempeñó de la forma que se requiere para ejecutar las tareas correctamente. El Arduino calcula el ITH del entorno con los datos obtenidos del sensor, en el momento en que se detecta el ITH mayor que 74, se ejecuta la rutina programada de enfriamiento.

Luego de aplicar la ventilación se obtiene un cambio de temperatura de 3 °C, el cual es un valor importante tomando en cuenta el tiempo en que descendió, la humedad relativa no presentó una variación notoria. A pesar de esto, se demostró la efectividad de la ventilación forzada complementada con la dispersión de agua para lograr un descenso de la temperatura, lo cual mantiene las condiciones de confort térmico.

Un sistema de dispersión de agua, por sí solo no produce los resultados esperados de un sistema de enfriamiento, ya que al aumentar la humedad sin agregar un medio que ayude a evaporar el agua aplicada en su piel, en cambio causaría un ascenso en el ITH del ambiente. La manera que mostró causar la disminución la temperatura en la piel de las vacas, contempla la inclusión de ventilación forzada y dispersión para aprovechar los medios de disipación de calor con el que cuenta, y así evitar el estrés calórico.

El factor que restringe la obtención de valores similares a los esperados en el sistema de enfriamiento real, es la diferencia del funcionamiento de los componentes del prototipo con respecto a los que se utilizarían en el sistema, ya que no se puede asegurar que guarden proporcionalidad con el caudal del ventilador. Asimismo, la dispersión de agua del prototipo no cuenta con los efectos que se tendrían con un sistema de dispersores ubicados a 3 metros desde el suelo, debido a que el agua sería rociada de forma distinta a la dispersión con atomizador.

Al operar el sistema de enfriamiento en el establo, se tendría una disminución notoria de la temperatura, aunque las mediciones obtenidas dependerían de la ubicación de los sensores al realizar las mediciones. Adicionalmente, es clave tener criterios de diseño para el montaje de los ventiladores en función del caudal de aire que es capaz de desplazar, así como la distribución del establecimiento en que se colocarían.

Para verificar la efectividad de un sistema, es de utilidad efectuar simulaciones de sus módulos, ya que de esta forma se pueden ver la operación de cada componente y facilita la toma de decisiones para mejorar la efectividad del algoritmo para ejecutar las funciones necesarias. Al realizar la simulación del circuito controlador se observó la correcta ejecución de la rutina de enfriamiento, en la forma esperada para el sistema automatizado diseñado.

El proyecto tiene un alcance de diseño introductorio, específico para un espacio evaluado en la Fortuna, aunque los mismos criterios de diseño se pueden aplicar a distintos escenarios en los cuales se deba realizar un modelado del sistema de enfriamiento. El algoritmo de operación se puede ajustar para funcionar de forma eficaz reduciendo costos de electricidad al establecer la mejor manera de ejecutar la secuencia de activación, así como las de evaluar las condiciones para encender el sistema de enfriamiento.

Para mejorar el diseño en un proyecto posterior, se pueden realizar pruebas de campo de temperatura y humedad de forma sistemática por medio de muestreo, que permitan un análisis más detallado del espacio en el que se realice la implementación de un sistema similar. Esto permitiría realizar un diseño adaptado al espacio que se considere para lograr una operación más eficiente del sistema.

Capítulo 7: Conclusiones y recomendaciones

7.1 Conclusiones

- El sistema de enfriamiento del prototipo provoca la reducción del ITH por debajo del nivel de estrés calórico.
- El prototipo presenta limitaciones para representar fielmente las condiciones ambientales de un establo, debido a que la escala de los elementos no guarda una relación proporcional a los componentes del sistema físico.
- La utilización del ventilador luego de rociar agua logra disminuir efectivamente la temperatura del aire.
- El proyecto presenta rentabilidad económica para aumentar las ganancias por el incremento de la producción de leche.

7.2 Recomendaciones

- Realizar mediciones de campo de la temperatura y la humedad relativa dentro del establo, para determinar la ubicación y la altura adecuadas para colocar los sensores.
- Estudiar el efecto del sistema de enfriamiento en las condiciones de mediante mediciones en diferentes sectores del establo.
- Efectuar la conexión del PLC a internet para monitorear de manera remota el funcionamiento del sistema de control.
- Estudiar el caudal del aire de los ventiladores para elegir los que mejor realizan la ventilación de las vacas en la zona de descanso.
- Analizar los efectos de la altura de los nebulizadores y la distancia entre cada uno para lograr un rociado adecuado en el establo.
- Obtener una cotización con el costo definitivo del sistema automatizado de enfriamiento, al consultar el precio de los productos exclusivamente a proveedores nacionales.

Bibliografía

- [1] J. Ruiz, B. Vargas, S. Abarca y H. Hidalgo, “Efecto del estrés calórico sobre la producción del ganado lechero en Costa Rica”, *Agronomía Mesoamericana*, vol. 30, no. 3, pp. 733-750, sept.-dic. 2019. [En línea]. Disponible en: <https://revistas.ucr.ac.cr/index.php/agromeso/article/view/35984/39512>
- [2] I. Mujika, “El estrés calórico: Efecto en las vacas”, *Navarra Agraria*, no. 150, pp. 36-44, may.-jun. 2005. [En línea]. Disponible en: https://www.navarraagraria.com/categories/item/download/328_4cc66900a2f29dc8f891d451dac70417
- [3] “Caudal de aire: qué es y principales métodos de medición”, Soler & Palau. <https://www.solerpalau.com/es-es/blog/caudal-de-aire-principales-metodos-medicion/> (acceso: 10 de junio de 2020)
- [4] A. Bathia, *Understanding Motor Nameplate Information: NEMA vs. IEC Standards*. Stony Point, NY, USA: Continuing Education and Development. [En línea]. Disponible en: www.cedengineering.com/userfiles/Motor%20Nameplate%20Information.pdf
- [5] Siemens, *LOGO! Manual*, 6a ed. Baviera, Alemania: Siemens AG. 2003.
- [6] “LOGO: Application examples”, Siemens. <https://new.siemens.com/us/en/products/automation/systems/industrial/plc/logo/logo-application-examples.html> (acceso: 5 de julio de 2020).
- [7] L. Corona, G. Abarca y J. Mares, *Sensores y actuadores: aplicaciones con Arduino*, 1a ed. D.F., México: Grupo editorial Patria, 2014. [En línea]. Disponible en: <https://books.google.co.cr/books?id=wMm3BgAAQBAJ&printsec=frontcover&hl=es#v=onepage&q&f=false>
- [8] D. Aran et al., *Electrónica - Técnicas digitales y microcontroladores: Técnicas digitales y microcontroladores*, 1a ed. Buenos Aires: USERS, 2014. [En línea]. Disponible en: <https://books.google.co.cr/books?id=aQS5DQAAQBAJ&printsec=frontcover&hl=es#v=onepage&q&f=false>

- [9] H. Farahani, R. Wagiran y M. Hamidon, “Humidity Sensors Principle, Mechanism, and Fabrication Technologies: A Comprehensive Review”, *Sensors*, vol. 14, pp. 7881-7939, may. 2014. [En línea]. Disponible en: <https://www.mdpi.com/1424-8220/14/5/7881/pdf>
- [10] W. Bolton, *Programmable logic controllers*, 6a ed. USA: Newnes, 2015.
- [11] *Controladores lógicos inteligentes*, UNED. [En línea]. Disponible en: http://www.ieec.uned.es/investigacion/Dipseil/PAC/archivos/Informacion_de_referencia_I SE6_1_2.pdf
- [12] E. Braun, *Electromagnetismo: De la ciencia a la tecnología*. 1a ed. México: Fondo de Cultura Económica, 2011. [En línea]. Disponible en: <https://books.google.co.cr/books?id=-ureQDcPX7UC&printsec=frontcover&hl=es#v=onepage&q&f=false>
- [13] L. Cerdá, *Instalaciones eléctricas y automatismos*, 1a ed. Madrid: Ediciones Paraninfo, 2014. [En línea]. Disponible en: <https://books.google.co.cr/books?id=oFfvBgAAQBAJ&printsec=frontcover&hl=es#v=onepage&q&f=false>
- [14] J. Rodríguez, L. Cerdá y R. Sánchez, *Automatismos industriales*, 1a ed. Madrid: Ediciones Paraninfo, 2014. [En línea]. Disponible en: https://books.google.co.cr/books?id=R9_7CAAAQBAJ&printsec=frontcover&hl=es#v=onepage&q&f=false
- [15] A. Diez, A. González, A. De la Puente, B. Vega y M. de Simón, *Selección de equipos y materiales en las instalaciones eléctricas de baja tensión en el entorno de edificios de viviendas, industrias, oficinas y locales de pública concurrencia*, 1ª ed. Madrid: Ediciones Paraninfo, 2017. [En línea]. Disponible en: <https://books.google.co.cr/books?id=K-U2DwAAQBAJ&printsec=frontcover&hl=es#v=onepage&q&f=false>
- [16] A. Correa, L. Avendaño, A. Rubio, D. Armstrong, J. Smith, y S. DeNise, “Efecto de un sistema de enfriamiento en la productividad de vacas lecheras bajo estrés calórico”, *Agrociencia*, vol. 36, no. 5, pp. 531-539, sept.-oct. 2002. [En línea]. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=30236504>

- [17] R. WingChing-Jones, R. Pérez y E. Salazar, “Condiciones ambientales y producción de leche de un hato de ganado Jersey en el trópico húmedo: el caso del módulo lechero-SDA/UCR”, *Agronomía costarricense*, vol 32, no. 1, pp. 87-94, 2008. [En línea]. Disponible en: https://www.mag.go.cr/rev_agr/v32n01-087.pdf
- [18] I. Corrales, “Efecto del estrés calórico en bovinos de leche”, tesis, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Cohahuila. 2014. [En línea]. Disponible en: <http://repositorio.uaaan.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/7133/IRE%20ESTANLEY%20HUMAYEL%20CORRALES%20LINARES.pdf?sequence=1>
- [19] H. Pérez, *Fisiología animal II*. Managua: UNA, 2013. [En línea]. Disponible en: <https://cenida.una.edu.ni/textos/nl50p438f.pdf>
- [20] “What is Joule Heating?”, simscale. <https://www.simscale.com/docs/simwiki/heat-transfer-thermal-analysis/what-is-joule-heating/> (acceso: 1 de agosto, 2020).
- [21] “Motor FLA Calculator”, Good calculators. <https://goodcalculators.com/motor-fla-calculator/> (acceso: 5 de agosto, 2020).
- [22] “Ventiladores de cesta”, Vostermans. <https://www.vostermans.com/es/ventilation/ventiladores-axiales/ventiladores-de-cesta> (acceso: 3 de agosto, 2020).
- [23] “LOGO! Software”, Siemens. <https://new.siemens.com/global/en/products/automation/systems/industrial/plc/logo/logo-software.html> (acceso: 25 de octubre de 2019).
- [24] “San Carlos produce 700 mil litros de leche por día. La mitad del país”, San Carlos digital. <https://sancarlosdigital.com/san-carlos-produce-700-millones-de-litros-de-leche-por-dia-la-mitad-del-pais/> (acceso: 12 de mayo de 2020)
- [25] *Código Eléctrico Nacional*, NFPA 70-2008.
- [26] V. Belsare, V. Pande, “Management of heat stress in dairy cattle and buffaloes for optimum productivity”, *Journal of agrometeorology*, vol. 10, pp. 365-368, 2008. [En línea]. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/278330701_Management_of_heat_stress_in_dairy_cattle_and_buffaloes_for_optimum_productivity

- [27] S. Hempel et al., “Uncertainty in the measurement of indoor temperature and humidity in naturally ventilated dairy buildings as influenced by measurement technique and data variability”, *ScienceDirect*, vol. 166, pp. 58-75, 2018. [En línea]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1537511016307966>
- [28] “DHT11 Humidity Temperature Sensor Brick”, itead. https://www.itead.cc/wiki/DHT11_Humidity_Temperature_Sensor_Brick (acceso: 31 de julio de 2020).
- [29] “Dos Pinos inyecta a economía rural \$519 millones diarios por compra de leche”, *elmundo.cr*. [En línea], Disponible en: <https://www.elmundo.cr/economia-y-negocios/dos-pinos-inyecta-a-economia-rural-%C2%A2519-millones-diarios-por-compra-de-leche/>. (acceso: 31 de julio de 2020).
- [30] “Consulta de tarifas eléctricas vigentes por empresa”, ARESEP. <https://app.powerbi.com/view?r=eyJrIjoiY2I2YTM1MzEtYzlmYS00NmE1LWFmM2QtYWMyYTYzYTEzMmFliiwidCI6IjBkNzIzOGY4LWI3ODQtNDk2MC1iZGUyLTZlMzM1MWQyNDcwZCIsImMiOiR9> (acceso: 10 abril de 2020).
- [31] “Tarifa acueducto AyA, 2020 a 2023”, ARESEP. <https://aresep.go.cr/tarifas/tarifas-vigentes/2889-tarifa-para-el-servicio-de-acueducto-2020-a-2023> (acceso: 30 de julio de 2020).
- [32] G. Baca, *Evaluación de proyectos*, D.F., México: Mc Graw-Hill/Interamericana Editores, 2010.
- [33] M. Custodio, “¿Qué es el ROI? Aprende cómo calcular el Retorno sobre la Inversión”, *rdstation*. <https://www.rdstation.com/es/blog/roi/> (acceso: 8 de agosto de 2020)
- [34] “I semestre cerró con variación negativa de -0,24%”, INEC. <https://www.inec.cr/noticia/i-semester-cerro-con-variacion-negativa-de-024> (acceso: 29 de julio de 2020).
- [35] “LC1K0601B7”, Schneider Electric. <https://www.se.com/cr/es/product/LC1K0601B7/tesys-k---minicontactor-3p-ac-3---%3C%3D440-v-6-a---bobina-24-v-ca/>. (acceso: 16 de julio de 2020).

[36] “Detailed information for: MS132-6.3”, ABB. <https://new.abb.com/products/1SAM350000R1009/ms132-6-3-manual-motor-starter> (acceso: 15 de julio de 2020).

[37] “Detailed information for: S202-K10”, ABB. <https://new.abb.com/products/2CDS252001R0427/miniature-circuit-breaker-s200-2p-k-10-ampere> (acceso: 15 de julio de 2020).

Apéndices y anexos

A.1 Logo 12/24RC

Tabla A.1.1 Datos técnicos del Logo 12/24RC. [5]

	LOGO! 12/24RC LOGO! 12/24RC_o	LOGO! DM8 12/24R
Fuente de alimentación		
Tensión de entrada	12/24 V c.c.	12/24 V c.c.
Rango admisible	10,8 ... 28,8 V c.c.	10,8 ... 28,8 V c.c.
Protección contra inversión de polaridad	sí	sí
Consumo de corriente		
• 12 V c.c.	30 ... 140 mA	30 ... 140 mA
• 24 V c.c.	20 ... 75 mA	20 ... 75 mA
Compensación de fallos de tensión		
• 12 V c.c.	típ. 2 ms	típ. 2 ms
• 24 V c.c.	típ. 5 ms	típ. 5 ms
Potencia disipada		
• 12 V c.c.	0,3 ... 1,7 W	0,3 ... 1,7 W
• 24 V c.c.	0,4 ... 1,8 W	0,4 ... 1,8 W
Respaldo del reloj a 25 °C	típ. 80 h	
Precisión del reloj de tiempo real	máx. 2 s / día	
Separación galvánica	no	no
Entradas digitales		
Cantidad	8	4
Separación galvánica	no	no
Tensión de entrada L+		
• señal 0	<5 V c.c.	<5 V c.c.
• señal 1	>8 V c.c.	>8 V c.c.

Continuación de tabla A.1.1

	LOGO! 12/24RC LOGO! 12/24RCo	LOGO! DM8 12/24R
Intensidad de entrada para <ul style="list-style-type: none"> • señal 0 • señal 1 	< 1, 0 mA (I1...I6) < 0,05 mA (I7, I8) > 1,5 mA (I1...I6) > 0,1 mA (I7, I8)	<1,0 mA >1,5 mA
Tiempo de retardo para <ul style="list-style-type: none"> • cambio de 0 a 1 • cambio de 1 a 0 	tip. 1,5 ms <1,0 ms (I5,I6) tip. 300 ms (I7,I8) tip. 1,5 ms <1,0 ms (I5,I6) tip. 300 ms (I7,I8)	tip. 1,5 ms tip. 1,5 ms
Longitud del conductor (sin blindaje)	100 m	100 m
Entradas analógicas		
Cantidad	2 (I7, I8)	
Margen	0 ... 10 V DC Impedancia de entrada 76 kΩ	
Tensión de entrada máx.	28,8 V CC	
Longitud del conductor (trenzado y apantallado).	10m	
Salidas digitales		
Cantidad	4	4
Tipo de las salidas	Salidas a relé	Salidas a relé
Separación galvánica	sí	sí
En grupos de	1	1
Activación de una entrada digital	sí	sí
Tensión de salida		
Intensidad de salida		
Corriente constante I_{th} (por cada borne)	máx. 10 A por relé	máx. 5 A por relé

Continuación de tabla A.1.1

	LOGO! 12/24RC LOGO! 12/24RC_o	LOGO! DM8 12/24R
Carga de lámparas incandescentes (25.000 maniobras) en caso de	1.000 W	1.000 W
Tubos fluorescentes con dispositivo previo electr. (25.000 histérisis)	10 x 58 W	10 x 58 W
Tubos fluorescentes compensados convencionalmente (25.000 maniobras)	1 x 58 W	1 x 58 W
Tubos fluorescentes no compensados (25.000 maniobras)	10 x 58 W	10 x 58 W
A prueba de cortocircuitos y sobrecarga		
Limitación de corriente en cortocircuitos		
Derating	Ninguno; en todo el margen de temperatura	Ninguno; en todo el margen de temperatura
Resistencia a cortocircuitos cos 1	Contactora potencia B16 600 A	Contactora potencia B16 600 A
Resistencia a cortocircuitos cos 0,5 a 0,7	Contactora potencia B16 900 A	Contactora potencia B16 900 A
Conexión de las salidas en paralelo para aumentar la potencia	no admisible	no admisible
Protección de un relé de salida (si se desea)	máx. 16 A, característica B16	máx. 16 A, característica B16
Frecuencia de conmutación		
Mecánica	10 Hz	10 Hz
Eléctrica		
Carga óhmica/carga de lámparas	2 Hz	2 Hz
Carga inductiva	0,5 Hz	0,5 Hz

A.2 Fuente de alimentación Logo Power 24V

Tabla A.2.1 Datos técnicos de fuente Power 24V. [5]

	LOGO! Power 24 V / 1,3 A	LOGO! Power 24 V / 2,5 A
Datos de entrada		
Tensión de entrada	120 ... 230 V c.a.	
Margen admisible	85 ... 264 V c.a.	
Frecuencia de red admisible	47 ... 63 Hz	
Compensación de fallos de tensión	40 ms (para 187 V c.a.)	
Intensidad de entrada	0,48 ... 0,3 A	0,85 ... 0,5 A
Corriente de activación (25°C)	<15 A	<30 A
Protección del equipo	interna	
Conmutador LS recomendado (IEC 898) en el cable de alimentación	>6 A característica D >10 A característica C	
Datos de salida		
Tensión de salida	24 V c.c.	
Tolerancia total	+/- 3 %	
Margen ajustable	22,2 ... 25,8 V c.c.	
Ondulación residual	< 250 mV _{SS}	
Intensidad de salida	1,3 A	2,5 A
Limitación de sobreintensidad	1,6 A	2,8 A
Rendimiento	> 80 %	
Conectable en paralelo para aumentar la potencia	sí	

A.3 Módulo de entradas analógicas Logo AM 2

Tabla A.3.1 Datos técnicos del módulo AM 2. [5]

LOGO! AM 2	
Fuente de alimentación	
Tensión de entrada	12/24 V c.c.
Margen admisible	10,8 ... 28,8 V c.c.
Consumo de corriente	25 ... 50 mA
Compensación de fallos de tensión	tip. 5 ms
Potencia disipada en caso de	
• 12 V	0,3 ... 0,6 W
• 24 V	0,6 ... 1,2 W
Separación galvánica	no
Protección contra inversión de polaridad	sí
Borne PE	para la conexión de tierra y pantalla del cable de medición analógico.
Entradas analógicas	
Cantidad	2
Tipo	unipolar
Rango de entrada	0 ... 10 V DC (impedancia de entrada 76 k Ω) o 0 ... 20 mA (impedancia de entrada <250 Ω)
Resolución	10 bit a 0 ... 1000 normalizado
Tiempo de ciclo para la formación de valores analógicos	50 ms
Separación galvánica	no
Longitud de la línea (blindada y trenzada)	10 m
Alimentación del encoder	Ninguna
Límite de errores	+/- 1,5 %
Supresión de frecuencias perturbadoras	55 Hz

A.4 Contactor TeSys-K LC1K06015B7 de Schneider

Hoja de datos obtenida en [35].

Ficha técnica del producto

Características

LC1K0601B7

TeSys K - Minicontactor 3P AC-3 - ≤ 440 V 6 A - bobina 24 V CA



Principal

Gama	TeSys
Tipo de producto o componente	Conector
Nombre del producto	TeSys K
Nombre corto del dispositivo	LC1K
Aplicación del dispositivo	Control
Aplicación del contactor	Control del motor

Complementario

Categoría de empleo	AC-4 AC-3
Número de polos	3P
Power pole contact composition	3 NA
[Ue] Tensión nominal de empleo	Circuito de alimentación, estado 1 690 V CA 50/60 Hz Circuito de señalización, estado 1 ≤ 690 V CA 50/60 Hz
[Ie] Corriente nominal de empleo	6 A en ≤ 440 V CA AC-3 para circuito de alimentación
Tipo de circuito de control	CA en 50/60 Hz
[Uc] tensión del circuito de control	24 V CA 50/60 Hz
Potencia del motor en kW	1,5 kW en 220...230 V CA 50/60 Hz AC-3 2,2 kW en 380...415 V CA 50/60 Hz AC-3 3 kW en 440 V CA 50/60 Hz AC-3 3 kW en 480 V CA 50/60 Hz AC-3 3 kW en 500...600 V CA 50/60 Hz AC-3 3 kW en 660...690 V CA 50/60 Hz AC-3 1,5 kW en 400 V CA 50/60 Hz AC-4
Composición de los contactos auxiliares	1 NC
[Uimp] Resistencia a picos de tensión	8 kV
Categoría de sobretensión	III
[Ith] Corriente térmica convencional	20 A en <50 °C para circuito de alimentación

10/08/2020

Lib-In-On Schneider Electric

1

Descargo de responsabilidad: Esta documentación no ha sido diseñada como reemplazo, ni se debe utilizar para determinar la idoneidad o la confiabilidad de estos productos para aplicaciones específicas de usuarios.

	10 A en <50 °C para circuito de señalización
Irms poder de conexión nominal	110 A CA para circuito de alimentación acorde a NF C 63-110 110 A CA para circuito de alimentación acorde a IEC 60947 110 A CA para circuito de señalización acorde a IEC 60947
Poder de corte asignado	110 A en 415 V acorde a IEC 60947 110 A en 440 V acorde a IEC 60947 80 A en 500 V acorde a IEC 60947 110 A en 220...230 V acorde a IEC 60947 110 A en 380...400 V acorde a IEC 60947 70 A en 660...690 V acorde a IEC 60947
[Icw] Corriente temporal admisible	90 A en <50 °C - 1 s para circuito de alimentación 85 A en <50 °C - 5 s para circuito de alimentación 80 A en <50 °C - 10 s para circuito de alimentación 60 A en <50 °C - 30 s para circuito de alimentación 45 A en <50 °C - 1 min para circuito de alimentación 40 A en <50 °C - 3 min para circuito de alimentación 20 A en <50 °C - >= 15 min para circuito de alimentación 80 A - 1 s para circuito de señalización 90 A - 500 ms para circuito de señalización 110 A - 100 ms para circuito de señalización
Fusible asociado	25 a gG en <= 440 V para circuito de alimentación 25 a aM para circuito de alimentación 10 a gG para circuito de señalización acorde a IEC 60947 10 A gG para circuito de señalización acorde a VDE 0660
Impedancia media	3 mOhm - Ith 20 A 50 Hz para circuito de alimentación
[Ui] Tensión nominal de aislamiento	Circuito de alimentación, estado 1 600 V acorde a UL 508 Circuito de alimentación, estado 1 690 V acorde a IEC 60947-4-1 Circuito de señalización, estado 1 690 V acorde a IEC 60947-4-1 Circuito de señalización, estado 1 690 V acorde a IEC 60947-5-1 Circuito de señalización, estado 1 600 V acorde a UL 508 Circuito de alimentación, estado 1 600 V acorde a CSA C22.2 No 14 Circuito de señalización, estado 1 600 V acorde a CSA C22.2 No 14
Resistencia de aislamiento	> 10 MOhm para circuito de señalización
Consumo a la llamada en VA	30 VA 20 °C)
Consumo de mantenimiento en VA	4,5 VA 20 °C)
Disipación de calor	1,3 W
Límites de tensión del circuito de control	Operativa, estado 1 0.8...1.15 Uc 50 °C) Desconexión, estado 1 0.2...0.75 Uc 50 °C)
Tipo de conexión	Bornas tornillo 1 cable(s) 1,5...4 mm²sólido Bornas tornillo 1 cable(s) 0,75...4 mm²Flexible sin extremidad de cable Bornas tornillo 1 cable(s) 0,34...2,5 mm²Flexible con Bornas tornillo 2 cable(s) 1,5...4 mm²sólido Bornas tornillo 2 cable(s) 0,75...4 mm²Flexible sin extremidad de cable Bornas tornillo 2 cable(s) 0,34...1,5 mm²Flexible con
Rango de operación	3600 cyc/h
Tipo de contactos auxiliares	tipo instantáneo 1 NC
Frecuencia del circuito de señalización	<= 400 Hz
Corriente mínima de conmutación	5 mA para circuito de señalización
Tensión mínima de conmutación	17 V para circuito de señalización
Soporte de montaje	Placa Carril
Par de apriete	1,3 N.m - en Bornas tornillo - con destornillador Philips nº 2 1,3 N.m - en Bornas tornillo - con destornillador plano Ø 6
Duración de maniobra	10...20 ms desact. bobina y apertura NA 10...20 ms activ. de bobina y cierre NA
Nivel de fiabilidad de seguridad	B10d = 1369863 ciclos contactor con carga nominal acorde a EN/ISO 13849-1 B10d = 20000000 ciclos contactor con carga mecánica acorde a EN/ISO 13849-1
Distancia de no superposición	0,5 mm
Durabilidad mecánica	10 Mciclos
Durabilidad eléctrica	1,3 Mciclos 6 A AC-3 en Ue <= 440 V
Resistencia mecánica	Impactos contactor cerrado en eje X, estado 1 10 Gn para 11 ms acorde a IEC 60068-2-27 Impactos contactor cerrado en eje Y, estado 1 15 Gn para 11 ms acorde a IEC 60068-2-27 Impactos contactor cerrado en eje Z, estado 1 15 Gn para 11 ms acorde a IEC 60068-2-27 Impactos contactor abierto en eje X, estado 1 6 Gn para 11 ms acorde a IEC 60068-2-27 Impactos contactor abierto en eje Y, estado 1 10 Gn para 11 ms acorde a IEC 60068-2-27

A.5 Guardamotor ABB MS132-16T

Hoja de datos obtenida en [36].



PRODUCT-DETAILS

MS132-6.3

MS132-6.3 Manual Motor Starter



General Information

Extended Product Type	MS132-6.3
Product ID	1SAM35000R1009
EAN	4013614400094
Catalog Description	MS132-6.3 Manual Motor Starter

Long Description	<p>The MS132-6.3 manual motor starter (also known as motor protection circuit breaker or manual motor protector) is a compact 45 mm width device with a rated operational current of $I_e = 6.3$ A. This device is used to manually switch on and off motors and to protect them reliably and without the need for a fuse from short-circuits, overload and phase failures. The manual motor starter offers a rated service short-circuit breaking capacity $I_{cs} = 100$ kA at 400 VAC and trip class 10. Further features are the build-in disconnect function, temperature compensation, trip-free mechanism and a rotary handle with a clear switch position indication. The manual motor starter is suitable for three- and single-phase applications. The handle is lockable to protect against unauthorized changes. Auxiliary contacts, signaling contacts, undervoltage releases, shunt trips, 3-phase bus bars, power in-feed blocks are available as accessory.</p>
------------------	---

Ordering

Minimum Order Quantity	1 piece
Customs Tariff Number	85362010

Popular Downloads

Data Sheet, Technical Information	2CDC131021D0201
Instructions and	2CDC131022M6802

MS132-6.3

Manuals	
Instructions and Manuals (Part 2)	2CDC131060M0202
Time-Current Characteristic Curve	1SAM300505F0009
I ² t Characteristic	1SAM300507F0001 1SAM300507F0003
Cut-off Current Characteristic	1SAM300508F0001 1SAM300508F0003
Dimension Diagram	1SAM300402F0001

Dimensions

Product Net Width	45 mm
Product Net Height	90 mm
Product Net Depth / Length	86.75 mm
Product Net Weight	0.265 kg

Technical

Rated Service Short-Circuit Breaking Capacity (I _{cs})	(230 V AC) 100 kA (250 V DC) 3 Poles in Series 10 kA (400 V AC) 100 kA (440 V AC) 30 kA (500 V AC) 20 kA (690 V AC) 3 kA
Rated Ultimate Short-Circuit Breaking Capacity (I _{cu})	(230 V AC) 100 kA (400 V AC) 100 kA (440 V AC) 30 kA (500 V AC) 20 kA (690 V AC) 3 kA
Rated Instantaneous Short-Circuit Current Setting (I _i)	78.8 A
Setting Range	4.0 ... 6.3 A
Rated Operational Power AC-3 (P _e)	(400 V) Three Phase 2.2 kW
Rated Operational Voltage	Main Circuit 690 V AC Main Circuit 250 V DC
Rated Operational Current (I _e)	6.3 A
Rated Operational Current AC-3 (I _e)	6.3 A
Rated Operational Current DC-5 (I _e)	6.3 A
Rated Frequency (f)	Main Circuit 50 Hz Main Circuit 60 Hz
Rated Impulse Withstand Voltage (U _{imp})	Main Circuit 6 kV
Rated Insulation Voltage (U _i)	690 V
Power Loss	at Rated Operating Conditions per Pole 0.7 ... 1.8 W
Number of Poles	3
Conventional Free-air Thermal Current (I _{th})	Main Circuit 6.3 A
Degree of Protection	Housing IP20 Main Circuit Terminals IP10
Pollution Degree	3
Electrical Durability	50000 cycle
Mechanical Durability	100000 cycle
Terminal Type	Screw Terminals

MS132-6.3

Connecting Capacity Main Circuit	Flexible with Ferrule 1/2x 0.75 ... 2.5 mm ² Flexible with Insulated Ferrule 1/2x 0.75 ... 2.5 mm ² Flexible 1/2x 0.75 ... 2.5 mm ² Rigid 1/2x 1 ... 4 mm ²
Tightening Torque	Main Circuit 0.8 ... 1.2 N-m
Wire Stripping Length	Main Circuit 9 mm
Recommended Screw Driver	Pozidriv 2
Mounting Position	Position 1 to 6
Mounting on DIN Rail	TH35-7.5 (35 x 7.5 mm Mounting Rail) acc. to IEC 60715 TH35-15 (35 x 15 mm Mounting Rail) acc. to IEC 60715
Minimum Mounting Distance	Electrical Conductive Board, Horizontal - Up to 400 V 0 mm Electrical Conductive Board, Horizontal - Up to 690 V 1.5 mm Electrical Conductive Board, Vertical 75 mm Other Device Same Type, Horizontal 0 mm Other Device Same Type, Vertical 150 mm
Actuator Type	Rotary Handle
Contact Position Indication	ON / OFF / TRIP
Standards	IEC/EN 60947-1 IEC/EN 60947-2 IEC/EN 60947-4-1 UL 60947-1 UL 60947-4-1
Remarks	UL508 Self-Protected Combination Motor Controller (Type E) in combination with feeder block S1-M3-xx

Technical UL/CSA

Short-Circuit Current Rating (SCCR)	Manual Self-Protected Combination Controllers (Type E), (480Y / 277 V AC) 65 kA Manual Self-Protected Combination Controllers (Type E), (600Y / 347 V AC) 18 kA Any UL Listed Fuses or Circuit-Breakers, Group Installations (480 V AC) 65 kA Any UL Listed Fuses or Circuit-Breakers, Group Installations (600 V AC) 35 kA Any UL Listed Fuses or Circuit-Breakers, Motor Disconnect (480 V AC) 65 kA Any UL Listed Fuses or Circuit-Breakers, Motor Disconnect (600 V AC) 18 kA Any UL Listed Fuses or Circuit-Breakers, Tap Conductor Protection in Group Installations (480 V AC) 65 kA Any UL Listed Fuses or Circuit-Breakers, Tap Conductor Protection in Group Installations (600 V AC) 18 kA
Maximum Operating Voltage UL/CSA	Main Circuit 600 V AC
Ampere Rating UL/CSA	6.3 A
Horsepower Rating UL/CSA	(200 V AC) Three Phase 1 Hp (208 V AC) Three Phase 1 Hp (220 ... 240 V AC) Three Phase 1.5 Hp (440 ... 480 V AC) Three Phase 3 Hp (550 ... 600 V AC) Three Phase 5 Hp
Full Load Amps Motor Use	(200 V AC) Three Phase 6.3 A (208 V AC) Three Phase 6.3 A (220 ... 240 V AC) Three Phase 6.3 A (440 ... 480 V AC) Three Phase 4.8 A (550 ... 600 V AC) Three Phase 6.1 A
Locked Rotor Amps	(200 V AC) Three Phase 37.8 A (208 V AC) Three Phase 37.8 A (220 ... 240 V AC) Three Phase 37.8 A (440 ... 480 V AC) Three Phase 32 A (550 ... 600 V AC) Three Phase 36.8 A
General Use Rating UL/CSA	(600 V AC) 6.3 A
Connecting Capacity Main Circuit UL/CSA	Flexible 1/2x 16-12 AWG Stranded 1/2x 16-12 AWG
Tightening Torque	Main Circuit 10 ... 12 in-lb

A.6 Disyuntor ABB S202-K30

Hoja de datos obtenida en [37]



PRODUCT-DETAILS

S202-K10

Miniature Circuit Breaker - S200 - 2P - K - 10 ampere



General Information

Extended Product Type	S202-K10
Product ID	2CDS252001R0427
EAN	4016779507394
Catalog Description	Miniature Circuit Breaker - S200 - 2P - K - 10 ampere
Long Description	System pro M compact S200 miniature circuit breakers are current limiting. They have two different tripping mechanisms, the delayed thermal tripping mechanism for overload protection and the electromechanic tripping mechanism for short circuit protection. They are available in different characteristics (B,C,D,K,Z), configurations (1P,1P+N,2P,3P,3P+N,4P), breaking capacities (up to 6 kA at 230/400 V AC) and rated currents (up to 63A). All MCBs of the product range S200 comply with IEC/EN 60898-1, IEC/EN 60947-2, UL1077 allowing the use for residential, commercial and industrial applications. Bottom-fitting auxiliary contact can be mounted on S200 to save 50% space.

Technical

Standards	IEC/EN 60947-2 UL 1077
Number of Poles	2
Number of Protected Poles	2
Tripping Characteristic	K
Rated Current (I _n)	10 A
Rated Operational Voltage	acc. to IEC 60898-1 400 V AC acc. to IEC 60947-2 440 V AC
Power Loss	2.8 W at Rated Operating Conditions per Pole 1.4 W

S202-K10

Rated Insulation Voltage (U _i)	acc. to IEC/EN 60664-1 440 V
Operational Voltage	Maximum (Incl. Tolerance) 125 V DC Maximum (Incl. Tolerance) 440 V AC Minimum 12 V AC / 12 V DC
Rated Frequency (f)	50 Hz 60 Hz
Rated Ultimate Short-Circuit Breaking Capacity (I _{cu})	(230 V AC) 20 kA (440 V AC) 10 kA
Rated Service Short-Circuit Breaking Capacity (I _{cs})	(230 V AC) 15 kA
Energy Limiting Class	3
Overvoltage Category	III
Pollution Degree	3
Rated Impulse Withstand Voltage (U _{imp})	(5.0 kV @ 2000 m) (6.2 kV @ sea level) 4 kV
Dielectric Test Voltage	50/60 Hz, 1 min: 2 kV
Housing Material	Insulation Group II, RAL 7035
Actuator Type	Insulation group II, black, sealable
Actuator Material	Insulation Group II, Black, Sealable
Actuator Marking	I / O
Contact Position Indication	Red ON / Green OFF
Degree of Protection	IP20
Remarks	IP40 in enclosure with cover
Electrical Endurance	20000 AC cycle 20000 cycle
Terminal Type	Screw Terminals
Screw Terminal Type	Failsafe Bi-directional Cylinder-lift Terminal
Connecting Capacity	Busbar 10 / 10 mm ² Flexible with Ferrule 0.75 ... 25 mm ² Flexible 0.75 ... 25 mm ² Rigid 0.75 ... 35 mm ² Stranded 0.75 ... 35 mm ²
Tightening Torque	2.8 N-m
Recommended Screw Driver	Pozidriv 2
Mounting on DIN Rail	TH35-15 (35 x 15 mm Mounting Rail) acc. to IEC 60715 TH35-7.5 (35 x 7.5 mm Mounting Rail) acc. to IEC 60715
Mounting Position	Any
Built-In Depth (t ₂)	69 mm
Installation Size	acc. to DIN 43880 1
Power Supply Connection	Arbitrary

Environmental

Ambient Air Temperature	Operation -25 ... +55 °C Storage -40 ... +70 °C
Resistance to Shock acc. to IEC 60068-2-27	25g / 2 shocks / 13 ms
Resistance to Vibrations acc. to IEC 60068-2-6	5g, 20 cycles at 5 ... 150 ... 5 Hz with load 0.8 In
Environmental Conditions	28 cycles with 55 °C / 90-96 % and 25 °C / 95-100 %
RoHS Status	Following EU Directive 2011/65/EU

S202-K10

Technical UL/CSA

Maximum Operating Voltage UL/CSA	110 V DC 480Y / 277 V AC
Connecting Capacity UL/CSA	Busbar 18-8 AWG Conductor 18-4 AWG
Tightening Torque UL/CSA	25 in-lb
Interrupting Rating acc. to UL1077	(110 V DC) 10 kA (277 V AC) 6 kA (480Y / 277 V AC) 6 kA

Dimensions

Product Net Width	35 mm
Product Net Depth / Length	69 mm
Product Net Height	88 mm
Product Net Weight	0.25 kg

Container Information

Package Level 1 Units	carton 5 piece
Package Level 1 Width	92 mm
Package Level 1 Depth / Length	183 mm
Package Level 1 Height	80 mm
Package Level 1 Gross Weight	1.3 kg
Package Level 1 EAN	4016779608701
Package Level 2 Units	60 piece
Package Level 2 Width	275 mm
Package Level 2 Depth / Length	395 mm
Package Level 2 Height	210 mm
Package Level 2 Gross Weight	14.8 kg
Package Level 2 EAN	4016779972642

Ordering

Minimum Order Quantity	1 piece
Customs Tariff Number	85362010
E-Number (Sweden)	2100713

Certificates and Declarations (Document Number)

Declaration of Conformity - CE	2CDK403001D0607
Environmental Information	2CDK400030D0201
Instructions and Manuals	2CSC400002D0208
RoHS Information	2CDK400003K0203

Popular Downloads

Data Sheet, Technical	9AKK107046A0423
-----------------------	-----------------

A.7 Cotizaciones de productos en Siesa

Cotización en Siesa. Fuente: Siesa.



Ced. 3-101-166355

SIESA Soluciones Industriales Electromecánicas S.A.
200 E, 500 N de Plaza Koros.
109001 Santa Ana - Costa Rica
Phone: +506 2203 1516
Mail: fe@siesacr.com

Presupuesto N° Cot-219018

Ciente Contado temporal

Dirección de envío :

Dirección de factura :
cliente contado

Su referencia	Fecha presupuesto	Comercial		Plazo de pago	
	02/06/2020	Fernando Valladares		Plazo de pago: Contado	
Descripción	IVA	Cantidad	Precio unidad	Desc. (%)	Precio
[0002033] Contactor Sirius S0 17A 120V 1NA+1NC Siemens 3RT2025-1AK60 <i>Entrega= 1 Dia, salvo previa venta</i>	IVA-Vtas	1.00 Unidad	\$ 83.99	0.00	\$ 83.99
[0100046] Guardamotor interruptor termomagnético 14-20A S0 Sirius Siemens 3RV2021-4BA10 <i>Entrega= 1 Dia, salvo previa venta</i>	IVA-Vtas	1.00 Unidad	\$ 123.94	0.00	\$ 123.94
[0400135] BREAKER SIEMENS 2P/20A CURVA C MONTAJE RIEL DIN 5SY42207CC <i>Entrega= 1 Dia, salvo previa venta</i>	IVA-Vtas	1.00 Unidad	\$ 28.44	0.00	\$ 28.44
[1002024] RELE PROGRAMABLE LOGO IN/4 OUT 12/24RC 4 ANALOG INPUT 12/24VDC SIEMENS <i>Entrega= 1 Dia, salvo previa venta</i>	IVA-Vtas	1.00 Unidad	\$ 113.09	0.00	\$ 113.09
[1002204] MODULO DE EXPANSION 24Vdc 2SALIDAS ANALOGICAS 0-10V/ 0 ó 4-20mA, AM2 AQ P/LOGO 8 SIEMENS 6ED1055-1MM00-0BA2 <i>Entrega= 1 Dia, salvo previa venta</i>	IVA-Vtas	1.00 Unidad	\$ 180.91	0.00	\$ 180.91
[1002002] MODULO DE EXPANSION 12 - 24Vdc LOGO DE 2ENTRADAS ANALOGICAS 0-10V 0-20mA AM2 SIEMENS 6ED1055-1MA00-0BA0 <i>Entrega= 1 Dia, salvo previa venta</i>	IVA-Vtas	1.00 Unidad	\$ 91.86	0.00	\$ 91.86
[2410543] Gabinete Metal IP66 500x400x260mm + Fondo Falso RAL7035 Eldon MAS0504026R5 <i>Entrega= 1 Dia, salvo previa venta</i>	IVA-Vtas	1.00 Unidad	\$ 128.50	0.00	\$ 128.50
[2410642] Gabinete metal IP66 UL 600x400x260mm + Fondo Falso RAL7035 Eldon MAS0604026R5 <i>Entrega= 1 Dia, salvo previa venta</i>	IVA-Vtas	1.00 Unidad	\$ 150.79	0.00	\$ 150.79

Teléfono: +506 2203 1516 | Fax: +506 2282 2401 | Sitio Web: www.siesacr.com | IVA: 3101166355 | Reg: 3101166355
BAC: 905789632 USD | BNCR: 100-02-060-600551-0 USD | BAC: 905789616 CRC | BNCR: 100-01-000-186040-2 CRC
Contact : Yaoska Hernandez Duarte - Page: 1

SIESA Soluciones Industriales Electromecánicas S.A.
200 E, 500 N de Plaza Koros.
109001 Santa Ana - Costa Rica
Phone: +506 2203 1516
Mail: fe@siesacr.com

Descripción	IVA	Cantidad	Precio unidad	Desc.(%)	Precio
[0061184] Riel DIN de acero galvanizado perforado 35x7.5mm x 1m SIBOX TS35/7.5-1.00m-Zinc <i>Entrega= 1 Día, salvo previa venta</i>	IVA-Vtas	1.00 Unidad	\$ 3.08	0.00	\$ 3.08
[3155590] SENSOR FUTURA TEMPERATURA PERFIL BAJO 20-120°F 4-20mA NOVAR FTS-1 <i>Entrega= 1 Día, salvo previa venta</i>	IVA-Vtas	1.00 Unidad	\$ 110.88	0.00	\$ 110.88
[3155431] Sonda sensor de %HR Humedad relativa p/pared en placa 10-90%H +/-3% 4-20mA <i>Entrega= 1 Día, salvo previa venta</i>	IVA-Vtas	1.00 Unidad	\$ 208.56	0.00	\$ 208.56
Total neto :					\$ 1,224.04
Impuestos :					\$ 159.12
Total :					\$ 1,383.16

Nombre del cliente: José Gabino Venegas
Correo: josevenegas96@hotmail.com
Plazo de pago: Contado
Validez: 15 Días

A.8 Prototipo implementado

A continuación, se muestra el prototipo utilizado para realizar las pruebas del algoritmo diseñado, analizando la efectividad de aplicar agua mediante un atomizador y la ventilación forzada para prevenir las condiciones de estrés calórico.

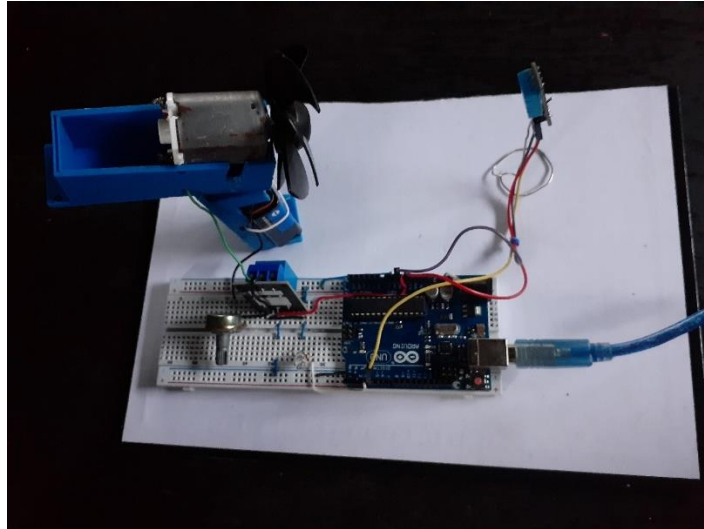


Figura A.1 Vista superior del prototipo del proyecto. Foto propia.

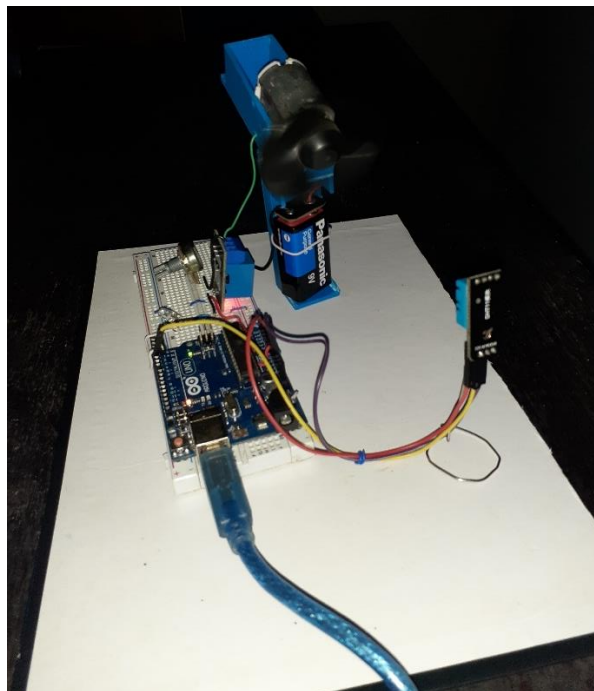


Figura A.2 Vista lateral del prototipo del proyecto. Foto propia.

A.9 Código fuente del programa diseñado en Arduino

```
#include <DHT.h>
#define releV 2 //Relé del ventilador
#define releD 3 //Rele del difusor de agua
DHT dht(4,DHT11); //sensor de humedad y temperatura DHT11

void setup() {
  pinMode(releD,OUTPUT);
  pinMode(releV,OUTPUT);
  Serial.begin(9600);
  dht.begin();}

void loop() {
  float h = dht.readHumidity();
  float t = dht.readTemperature();
  if (isnan(h) || isnan(t)){ //Comprobar errores en la lectura
    Serial.println("Error obteniendo los datos del sensor DHT11");
    delay(4000);
    return;}

  float ith = 0.81*t+h*(t-14.4)/100+46.4;// Calcular el índice de T y HR
  if(ith>74){
    digitalWrite(releD, HIGH);
    delay(5000);
    digitalWrite(releD, LOW);
    delay(500);
    digitalWrite(releV, HIGH);
    delay(30000);

    if(ith>70){
      digitalWrite(releD, HIGH); //activación del aspensor durante 5 segundos
      delay(5000);
      digitalWrite(releD, LOW);
      delay(30000);
      digitalWrite(releV, LOW);}
    else{ //el ventilador continua por 30 segundos adicionales
      delay(30000);
      digitalWrite(releV, LOW);}
    }
  delay(10000);
}
```

A.10 Fotografías del establo considerado en el proyecto



Figura A.3 Entrada del establo. Foto propia.



Figura A.4 Cubículos del establo. Foto propia.



Figura A.5 Vista panorámica del establo. Foto propia.

A.11 Panel eléctrico del proyecto

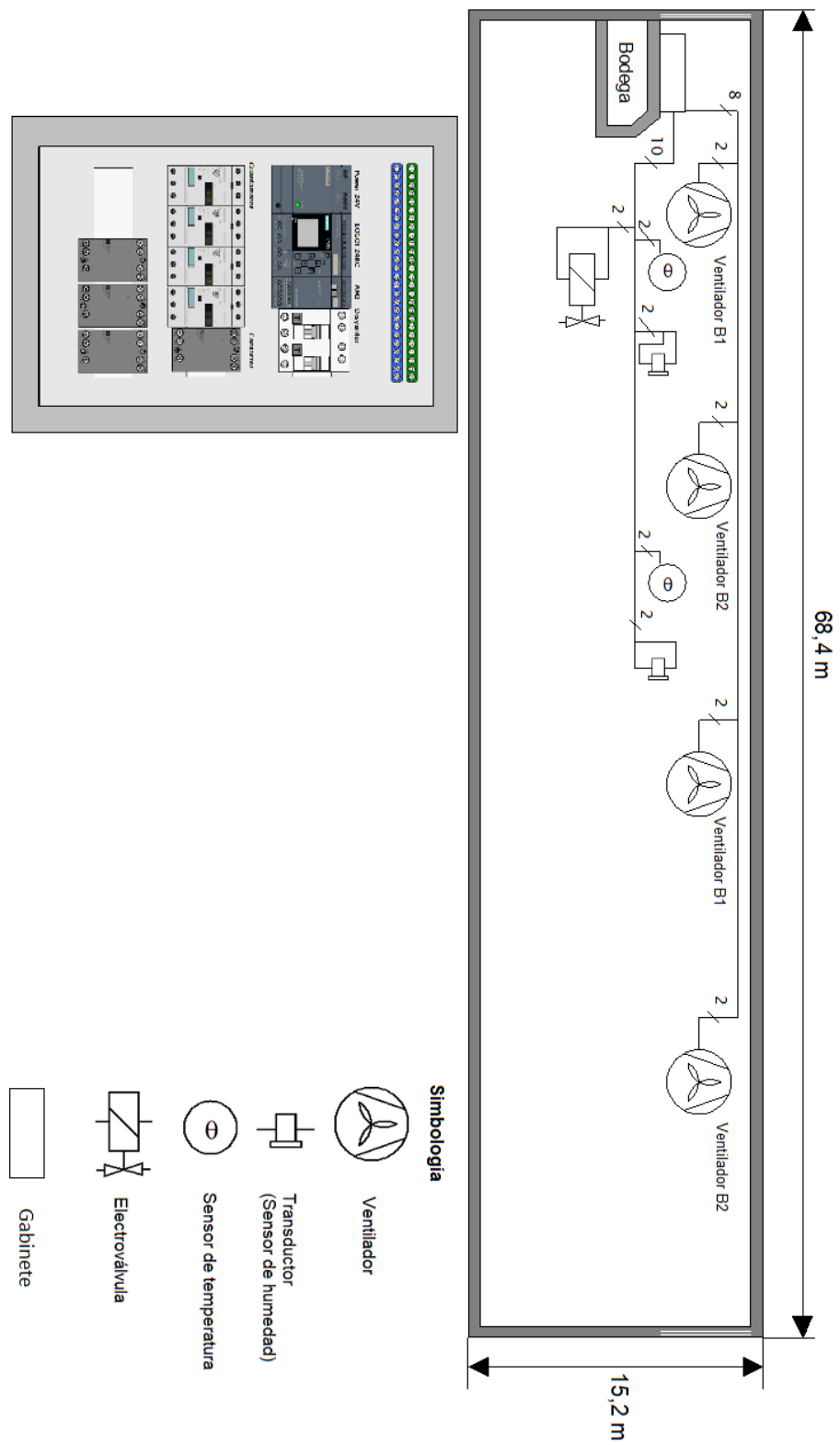


Figura A.6 Plano eléctrico con la estructura del gabinete.
Fuente: Elaboración propia.

A.12 Esquemático del sistema de enfriamiento

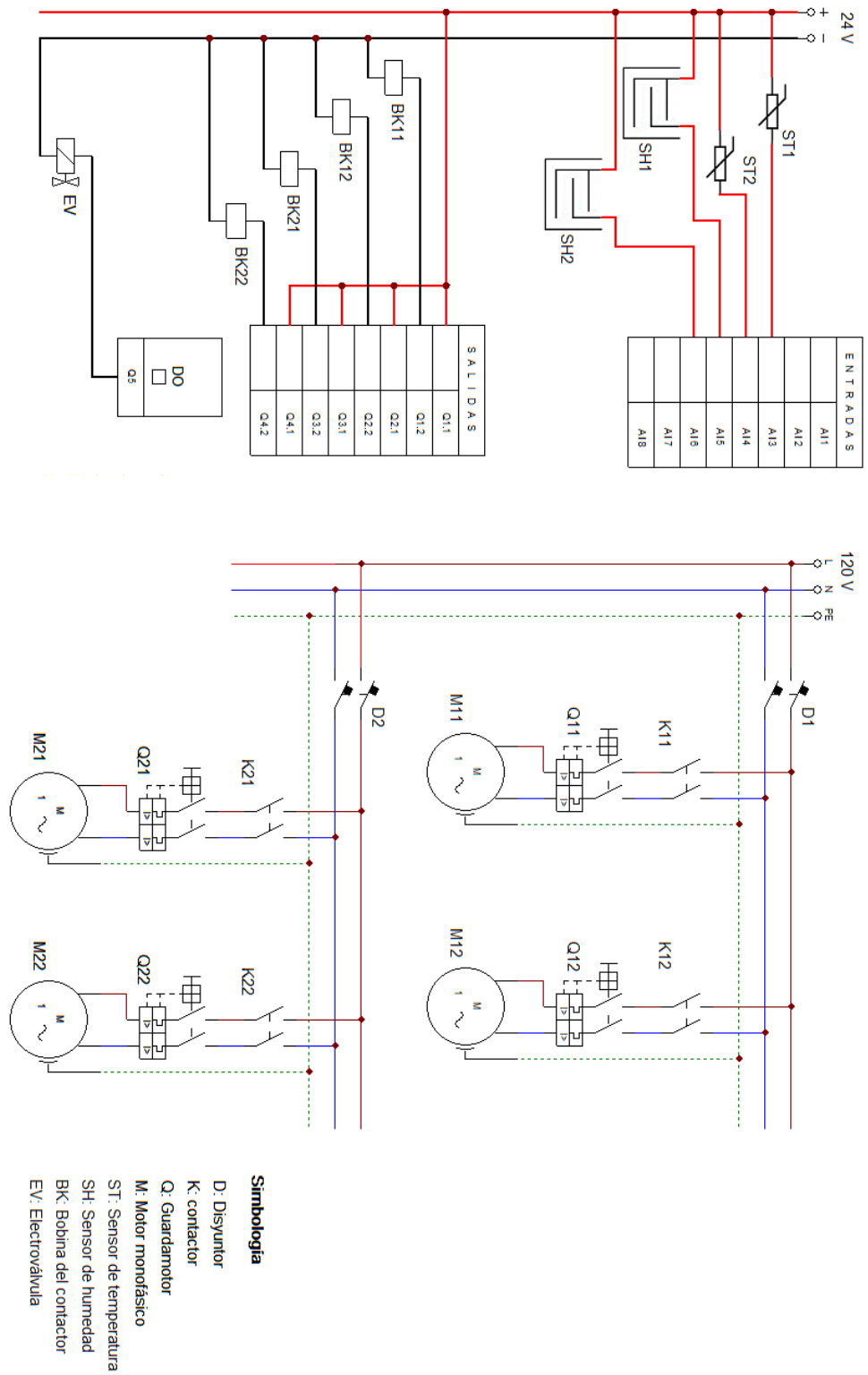


Figura A.7 Esquemático del sistema de enfriamiento.
Fuente: Elaboración propia.