

**AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL DE HUMIDIFICADOR DE AIRE EN LA  
PLANTA DE HILATURA DE COATS CADENA ANDINA**

**JOHN FREDY ESPINOSA VICTORIA**

**YAMID ALEXANDER MORENO ZAMBRANO**

**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA**

**FACULTAD DE INGENIERÍAS: ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA, FÍSICA,  
CIENCIAS DE LA COMPUTACIÓN**

**PROGRAMA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA  
PEREIRA**

**2014**

**AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL DE HUMIDIFICADOR DE AIRE EN LA  
PLANTA DE HILATURA DE COATS CADENA ANDINA**

**JOHN FREDY ESPINOSA VICTORIA**

**YAMID ALEXANDER MORENO ZAMBRANO**

**Proyecto de grado presentado como requisito parcial para optar el título de Ingeniero  
Electrónico**

**Director**

**M. Sc. MAURICIO HOLGUÍN LONDOÑO**

**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA**

**FACULTAD DE INGENIERÍAS: ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA, FÍSICA,  
CIENCIAS DE LA COMPUTACIÓN**

**PROGRAMA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA  
PEREIRA**

**2014**

Nota de aceptación:

---

---

---

---

---

---

---

Director  
M. Sc. MAURICIO HOLGUÍN LONDOÑO

---

Jurado

---

Director del programa de  
Ingeniería electrónica

Pereira, Agosto de 2014

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradecer a mis padres, esposa e hijo por el apoyo incondicional durante este proceso tan importante en mi vida, a los señores Gildardo Herrera y Felipe Bernal, por autorizar el desarrollo del trabajo de grado al interior de la planta Coats Cadena andina SA y a los profesores del programa, en especial al Ing. Mauricio Holguín por el acompañamiento durante la elaboración de este proyecto.

John Fredy Espinosa Victoria.

Agradezco a mi familia por el apoyo incondicional y por compartir mis angustias y gratificaciones en estos años de estudio, a las directivas de Coats Cadena Andina SA por su inmenso aporte en la realización de este proyecto, al Ing. Mauricio Holguín y a todos los docentes de la Universidad Tecnológica de Pereira por ayudarme a conquistar las metas que una vez me propuse y por todas las oportunidades que permitieron desarrollarme en el medio.

Yamid Alexander Moreno Zambrano

## TABLA DE CONTENIDO

pág.

1	DEFINICIÓN DEL PROBLEMA.....	11
2	JUSTIFICACIÓN.....	12
3	OBJETIVOS.....	13
3.1	OBJETIVO GENERAL .....	13
3.2	OBJETIVO ESPECIFICO .....	13
4	PROCESO DE HUMIDIFICACIÓN .....	15
4.1	HUMEDAD RELATIVA.....	15
4.2	TEMPERATURA .....	15
4.3	BOMBAS HIDRÁULICAS .....	15
4.4	VENTILADORES.....	16
4.5	DESCRIPCIÓN DEL FUNCIONAMIENTO INICIAL .....	17
5	VARIADORES DE VELOCIDAD.....	20
6	CONTROLADORES LÓGICOS PROGRAMABLES, PLC.....	22
7	CONTROL REGULADO .....	24
7.1	CONTROL PROPORCIONAL (P).....	24
7.2	CONTROL PROPORCIONAL INTEGRAL (PI) .....	25
7.3	CONTROL PROPORCIONAL DERIVATIVO .....	26
7.4	CONTROL EN LAZO CERRADO .....	28
8	CARGAS DE PAR VARIABLE .....	29
9	PLANIFICACIÓN Y DISEÑO.....	32
9.1	PLAN DE FUNCIONAMIENTO PARA EL EQUIPO AUTOMATIZADO .....	34
9.2	TRATAMIENTO DE SEÑALES ANALÓGICAS .....	35
9.2.1	Normalizar.....	36
9.2.2	Escalar .....	37
9.2.3	Ejemplo (KOP): Normalización y escalado de un valor de entrada analógica 38	
9.2.4	Ejemplo (KOP): Normalización y escalado de un valor de salida analógico.	39
9.3	DISEÑO TABLERO DE CONTROL.....	40
9.4	DISEÑO DE ALGORITMO DE PROGRAMACIÓN .....	44
9.4.1	Descripción de entradas y salidas del PLC .....	44
9.4.2	Diagrama de flujo general del código de programación. ....	47
9.4.2.1	Control humedad relativa.....	47
9.4.2.2	Control temperatura, ventiladores.....	48
9.4.2.3	Control temperatura, compuertas.....	49
9.4.3	Modo automático: .....	50
9.4.4	Modo Manual .....	53
10	SISTEMA DE MONITOREO Y SUPERVISIÓN.....	55

11 IMPLEMENTACIÓN .....	58
11.1 DIAGRAMAS ELÉCTRICOS.....	58
11.2 PRESENTACIÓN DEL TABLERO DE CONTROL.....	73
12 ANÁLISIS DEL SISTEMA ANTES Y DESPUÉS DE LA AUTOMATIZACIÓN.....	76
12.1 COMPORTAMIENTO DEL SISTEMA ANTES DEL PROCESO DE AUTOMATIZACIÓN.....	76
12.2 COMPORTAMIENTO DEL SISTEMA DESPUÉS DE LA AUTOMATIZACIÓN.	81
12.3 PRUEBA ESPECIAL, 24 HORAS. ....	85
13 CONCLUSIONES GENERALES .....	96
14 RECOMENDACIONES .....	98
15 BIBLIOGRAFÍA.....	99
16 ANEXO .....	101
A.1. CÓDIGO DE PROGRAMACIÓN PLC Y HMI, PRESENTADO EN FORMATO DIGITAL.....	101

## LISTA DE FIGURAS

	<b>pág.</b>
Figura 1: Exterior tablero inicial .....	17
Figura 2: Interior tablero inicial. ....	18
Figura 3: Esquema de conexión de un variador de velocidad.....	20
Figura 4: Bloques principales de funcionamiento para un PLC .....	23
Figura 5: Arquitectura interna PLC.....	23
Figura 6: Diagrama de bloques control proporcional .....	25
Figura 7: Diagrama de bloques control integral.....	26
Figura 8: Diagrama de bloques control derivativo.....	27
Figura 9: Circuito regulador PID .....	27
Figura 10: Diagrama de bloques de un control de lazo cerrado.....	28
Figura 11: Leyes de las cargas de par variable .....	29
Figura 12: Distribución de los humidificadores de aire 1 y 2 .....	33
Figura 13: Moto ventilador aire número 1 .....	35
Figura 14: Motobomba aire número 2 .....	35
Figura 15: Normalizar valores .....	36
Figura 16: Ejemplo de normalización y escalado de un valor de entrada analógica [17]....	39
Figura 17: Ejemplo de normalización y escalado de un valor de salida analógico. [17]....	39
Figura 18: Diseño de exterior tablero de control .....	42
Figura 19: Diseño de interior tablero de control .....	42
Figura 20: Entradas/ salidas PLC.....	46
Figura 21: Escalar velocidad en moto ventilador.....	50
Figura 22: Implementación referencia de velocidad moto ventilador. ....	51
Figura 23: Implementación de PID en software. ....	52
Figura 24: Imagen HMI menú de configuración.....	53
Figura 25: Imagen HMI, parámetros aire 1.....	53
Figura 26: Imagen HMI, modo de funcionamiento manual.....	54
Figura 27: Imagen HMI, estado del Humidificador 1 .....	55
Figura 28: Imagen HMI, estado del Humidificador 2.....	56
Figura 29: Imagen HMI, comportamiento grafico de las variables humedad relativa y temperatura.....	56
Figura 30: Imagen HMI, pantalla principal.....	57
Figura 31: Imagen HMI, ajuste de fecha y hora local.....	57
Figura 32: Diagrama de conexiones_1.....	59
Figura 33: Diagrama de conexiones_2.....	60
Figura 34: Diagrama de conexiones_3.....	61
Figura 35: Diagrama de conexiones_4.....	62
Figura 36: Diagrama de conexiones_5.....	63
Figura 37: Diagrama de conexiones_6.....	64
Figura 38: Diagrama de conexiones_7.....	65
Figura 39: Diagrama de conexiones_8.....	66

Figura 40: Diagrama de conexiones_9.....	67
Figura 41: Diagrama de conexiones_10.....	68
Figura 42: Diagrama de conexiones_11.....	69
Figura 43: Diagrama de conexiones_12.....	70
Figura 44: Diagrama de conexiones_13.....	71
Figura 45: Diagrama de conexiones_14.....	72
Figura 46: Imagen exterior tablero de control, con automatización .....	73
Figura 47: Imagen interior tablero de control, con automatización_1 .....	74
Figura 48: Imagen interior tablero de control, con automatización_2 .....	74
Figura 49: Imagen interior tablero de control, con automatización_3 .....	75
Figura 50: Grafica comportamiento de humedad relativa y temperatura antes de automatización. ....	78
Figura 51: Histograma variable temperatura, marzo 26 a abril 3 del 2014.....	79
Figura 52: Histograma variable Humedad, marzo 26 a abril 3 del 2014 .....	79
Figura 53: Potencia activa, marzo 26 a abril 2.....	80
Figura 54: Grafica comportamiento de humedad relativa y temperatura después de automatización. ....	82
Figura 55: Histograma variable temperatura, junio 25 a junio 29 del 2014 .....	83
Figura 56: Histograma variable humedad relativa, junio 25 a junio 29 del 2014 .....	83
Figura 57: Potencia activa, junio 25 a junio 29 del 2014.....	84
Figura 58: Prueba especial, humedad y temperatura a velocidad máxima por 24 horas .....	86
Figura 59: Histograma temperatura, prueba especial, velocidad máxima por 24 h.....	87
Figura 60: Histograma temperatura, prueba especial, velocidad máxima por 24 h.....	87
Figura 61: Potencia activa, prueba especial, velocidad máxima por 24 h .....	88
Figura 62: Energía activa, prueba especial, velocidad máxima por 24 h.....	89
Figura 63: Prueba especial, automatización activa por 24 horas .....	91
Figura 64: Histograma temperatura, automatización activa por 24 horas .....	92
Figura 65: Histograma humedad relativa, automatización activa por 24 horas .....	92
Figura 66: Potencia activa: Prueba especial, automatización activa por 24 horas.....	93
Figura 67: Energía activa: Prueba especial, automatización activa por 16 horas. ....	94
Figura 68: Energía activa: Prueba especial, automatización activa por 24 horas. ....	95



## LISTA DE TABLAS

	<b>pág.</b>
Tabla 1: Instrucción Normalizar .....	37
Tabla 2: Instrucción escalar .....	38
Tabla 3: Lista de materiales utilizados en el proyecto .....	40
Tabla 4: Elementos en el tablero de control y sus abreviaciones.....	43
Tabla 5: Entradas digitales del PLC.....	44
Tabla 6: Salidas digitales .....	45
Tabla 7: Entradas análogas.....	45
Tabla 8: Salidas analógicas .....	45

**PARTE I**  
**INTRODUCCIÓN**

## **1 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA**

En la actualidad es de vital importancia el control total que se puede tener sobre todo tipo de dispositivos, ya que esto puede hacer que un sistema opere a condiciones óptimas y cumpliendo con sus objetivos de funcionamiento, de este modo se hace más productivo y confiable cualquier tipo de proceso en una industria.

El problema surge por la necesidad que se presenta en los salones de producción de la empresa COATS Cadena Andina, ubicada en la ciudad de Pereira, y en particular en la sección de Hilandería Retorcer, dicha empresa pertenece al sector textil y está centrada en la mano factura de hilo; las fibras empleadas para la elaboración de este, (algodón o poliéster) son materiales con propiedades higroscópicas (capacidad de los materiales de absorber la humedad del ambiente) [1]. Cuando el salón de producción de hilandería se encuentra con una humedad relativa elevada, la materia prima absorbe esta humedad y conlleva a que el producto aumente su densidad, este efecto no es deseado debido a que la roca, que es como se denomina el producto intermedio, aumenta en forma considerable su volumen, dejando las espiras de hilo débiles y flojas, esto produce daño en el producto cuando se transporta al siguiente proceso; lo más grave aún es que al llegar a tintorería, (proceso que se ejecuta en autoclaves que realizan baños a alta presión) las rocas sufren deformación en el momento de realizar el baño con el tinte.

Adicionalmente en las máquinas hiladoras la materia prima o insumo de este proceso (también llamado mecha) es más vulnerable a enredos en los rodillos de paso y ejes de estiraje. Por el contrario, cuando la humedad relativa al interior del salón es baja, es el evento más común, la roca sufre el efecto de compresión, es decir toma una consistencia más firme y las espiras de hilo quedan más apretadas, lo anterior se convierte en un serio problema porque en el momento de teñir dichas rocas con baja densidad, el tinte no puede penetrar al interior del paquete dejando como resultado un teñido inconstante y defectuoso.

## **2 JUSTIFICACIÓN**

Uno de los criterios más importantes para determinar la calidad del hilo y su buen desempeño en el proceso de teñido, es la densidad que se tiene en el paquete o roca de producto en el proceso de retorcer; dado que la materia prima para la producción de dicho producto es higroscópica [2], se hace indispensable para la empresa mantener el ambiente y en especial la humedad relativa dentro de ciertos parámetros, que garanticen la calidad del producto y brinden las condiciones mínimas necesarias para mantener la correcta productividad, este proceso de control es costoso para la compañía ya que los equipos utilizados (moto ventiladores, moto bombas) demandan una cantidad de energía significativa, razón por la cual es importante mantener un adecuado balance en el control del sistema que garantice las mínimas condiciones y no llegue a representar un castigo en la parte económica producto de consumo elevado de energía eléctrica.

Las instalaciones de la fábrica cuentan en este momento con el montaje de sistemas para el control de humedad, pero dichos sistemas son antiguos, en donde su control se lleva a cabo por el método ON/OFF, además de ello el sistema de control actual es muy vulnerable a la manipulación de las personas que trabajan en el salón de producción, las condiciones anteriores llevan a un funcionamiento ligado a la apreciación personal y diversa, por ser numerosas las personas que intervienen los equipos, en consecuencia, la conjugación de los factores mencionados anteriormente entregan como resultado una inestabilidad en las variables de proceso humedad relativa y temperatura junto con un elevado e incontrolable consumo de energía eléctrica y agua potable. De este modo, se presenta un gran potencial de mejora y optimización del proceso de humidificación de aire el salón de producción de la empresa COATS cadena Andina, tanto en su parte funcional y operativa como en el ahorro de energía eléctrica y agua potable, lo anterior se traduce como un mejor funcionamiento a un precio menor que el actual y con un impacto ambiental positivo, ya que se está reduciendo la cantidad de agua y energía utilizada para realizar el proceso de humidificación en los salones de producción.

### **3 OBJETIVOS**

#### **3.1 OBJETIVO GENERAL**

Diseñar e implementar un sistema de instrumentación y control en lazo cerrado sobre la variable de humedad relativa y temperatura en el salón de producción de la empresa COATS Cadena Andina SA, que permita obtener un hilo con mejores condiciones al controlar dichas variables, utilizando un control lógico programable además, optimizar el consumo de energía eléctrica y agua potable.

#### **3.2 OBJETIVO ESPECIFICO**

- Consultar y analizar las técnicas adecuadas para realizar control de variables del proceso y mecanismos que permitan regular la potencia demandada en sistema de bombeo y ventilación (cargas de par variable).
- Planificar y diseñar un control con control lógico programable (PLC) que permita mejorar la estabilidad de las variables de proceso (humedad relativa y temperatura) además que permita optimizar el consumo de energía eléctrica y agua potable.
- Elaborar un sistema de monitoreo y supervisión del proceso de control, utilizando una HMI (Interface hombre máquina) que indique al operador en forma interactiva y amigable el estado actual de las variables humedad relativa y temperatura.
- Implementar en forma física y acertada el diseño de control y su respectivo montaje en el salón de producción Hilandería Retorcer de la empresa Coats Cadena Andina SA.

**PARTE II**  
**MATERIALES Y MÉTODOS**

## **4 PROCESO DE HUMIDIFICACIÓN**

### **4.1 HUMEDAD RELATIVA**

La Humedad Relativa es el cociente entre la Humedad Absoluta y la cantidad máxima de agua que admite el aire por unidad de volumen. Está normalizada de forma tal que la humedad relativa máxima posible sea del 100% [3].

### **4.2 TEMPERATURA**

La Temperatura es una propiedad de la materia que está relacionada con la sensación de calor o frío que se siente en contacto con ella. La temperatura es una medida del calor o energía térmica de las partículas en una sustancia, además esta no depende del número de partículas en un objeto y por lo tanto no depende de su tamaño. Actualmente se utilizan tres escalas para medir la temperatura, la escala Celsius es la que normalmente se utiliza, el Fahrenheit se usa en los países anglosajones y la escala Kelvin de uso científico [4].

### **4.3 BOMBAS HIDRÁULICAS**

Una bomba Hidráulica es una máquina generadora que transforma la energía (generalmente energía mecánica) con la que es accionada en energía hidráulica del fluido incompresible que mueve. El fluido incompresible puede ser líquido o una mezcla de líquidos y sólidos como puede ser el hormigón antes de fraguar o la pasta de papel. Al incrementar la energía del fluido, se aumenta su presión, su velocidad o su altura, todas ellas relacionadas según el principio de Bernoulli. En general, una bomba se utiliza para incrementar la presión de un líquido añadiendo energía al sistema hidráulico, para mover el fluido de una zona de menor presión o altitud a otra de mayor presión o altitud. Existe una ambigüedad en la utilización del término bomba, ya que generalmente es utilizado para referirse a las máquinas de fluido que transfieren energía, o bombean fluidos incompresibles, y por lo tanto no alteran la densidad de su fluido de trabajo, a diferencia de otras máquinas como lo son los compresores, cuyo campo de aplicación es la neumática y no la hidráulica. Pero también es común encontrar el término bomba para referirse a máquinas que bombean otro tipo de fluidos, así como lo son las bombas de vacío o las bombas de aire [5].

Se clasifican según su tipo de funcionamiento:

- Bombas de desplazamiento positivo o volumétrico, en las que el principio de funcionamiento está basado en la hidrostática, de modo que el aumento de presión se realiza por el empuje de las paredes de las cámaras que varían su volumen. En este tipo de bombas, en cada ciclo el órgano propulsor genera de manera positiva un volumen dado o cilindrada, por lo que también se denominan bombas volumétricas [5]
- Bombas de émbolo alternativo, en las que existe uno o varios compartimentos fijos, pero de volumen variable, por la acción de un émbolo o de una membrana. En estas máquinas, el movimiento del fluido es discontinuo y los procesos de carga y descarga se realizan por válvulas que abren y cierran alternativamente. Algunos ejemplos de este tipo de bombas son la bomba alternativa de pistón, la bomba rotativa de pistones o la bomba pistones de accionamiento axial [5].
- Bombas volumétricas rotativas o roto estáticas, en las que una masa fluida es confinada en uno o varios compartimentos que se desplazan desde la zona de entrada (de baja presión) hasta la zona de salida (de alta presión) de la máquina. Algunos ejemplos de este tipo de máquinas son la bomba de paletas, la bomba de lóbulos, la bomba de engranajes, la bomba de tornillo o la bomba peristáltica [5].
- Bomba roto dinámica, en las que el principio de funcionamiento está basado en el intercambio de cantidad de movimiento entre la máquina y el fluido, aplicando la hidrodinámica. En este tipo de bombas hay uno o varios rodetes con álabes que giran generando un campo de presiones en el fluido. En este tipo de máquinas el flujo del fluido es continuo [5].

#### **4.4 VENTILADORES**

Un ventilador, es una máquina rotativa que pone el aire, o un gas, en movimiento. Se puede definir como una turbo máquina que transmite energía para generar la presión necesaria con la que mantener un flujo continuo de aire. Un ventilador consta en esencia de un motor de accionamiento, generalmente eléctrico, con los dispositivos de control propios de los mismos: arranque, regulación de velocidad, conmutación de polaridad, etc. y un propulsor giratorio en contacto con el aire, al que le transmite energía.

Este propulsor adopta la forma de rodete con álabes, en el caso del tipo centrífugo, o de una hélice con palas de silueta y en número diverso, en el caso de los axiales. El conjunto, o por lo menos el rodete o la hélice, van envueltos por una caja con paredes de cierre en forma de espiral para los ventiladores centrífugos y por un marco plano o una envoltura tubular en los axiales. La envolvente tubular puede llevar una reja radial de álabes fijos a la entrada o salida de la hélice, llamada directriz, que guía el aire, para aumentar la presión y el rendimiento del aparato [5].



#### 4.5 DESCRIPCIÓN DEL FUNCIONAMIENTO INICIAL

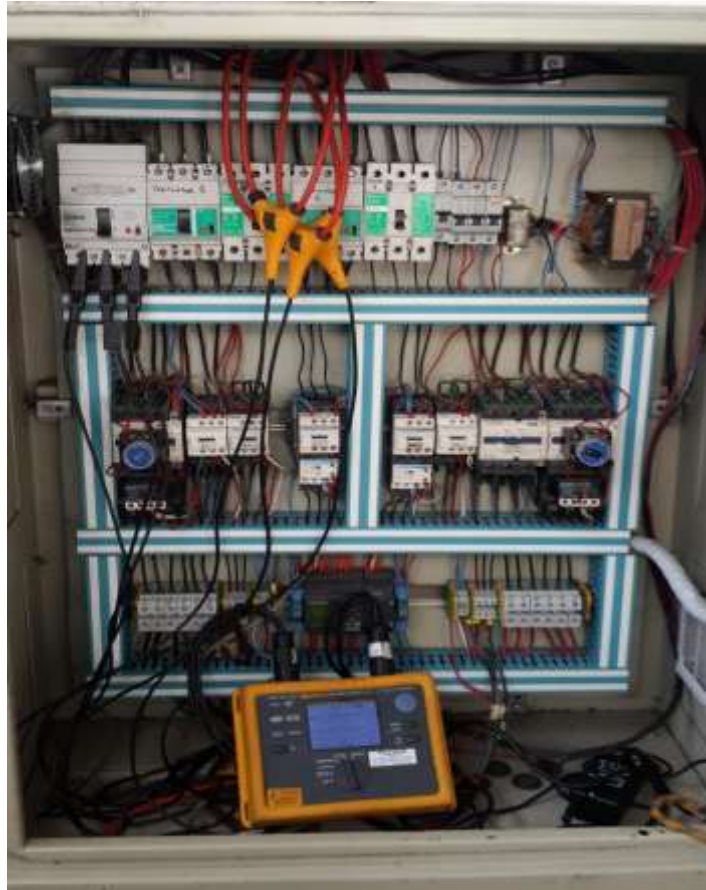
El proyecto está compuesto por dos sistemas humidificadores con especificaciones iguales, para efectos de descripción de funcionamiento se tratara solo de uno ellos, entendiendo que este principio aplica para ambos equipos. En la figura número 1 se puede apreciar el exterior del tablero de control antes de realizar la automatización; en esta imagen se puede observar los controles del humidificador 1 y el humidificador 2. Cada sistema consta de pulsador encendido apagado para el ventilador y otro para la motobomba, además de una perilla selectora para determinar el modo de operación, manual o automático. En la parte inferior estaba ubicado los indicadores tipo LED del ventilador y bomba en funcionamiento.

Figura 1: Exterior tablero inicial



En la figura número 2 se muestra el interior del mismo tablero con el analizador de redes fluke 1735 conectado al sistema para efectos de registro de consumo de energía, en esta, se observa en la parte central los arrancadores estrella triangulo de los dos sistemas moto ventilados como los arrancadores directos de las motobombas, en la parte superior está ubicado el Breaker totalizador con las respectivas protecciones de los motores y en la parte inferior se encuentra el control respectivo con las borneras de salida.

Figura 2: Interior tablero inicial.



- Control de la variable humedad relativa:  
Para manejar los valores de la humedad relativa al interior del salón se procede a introducir agua pulverizada por medio de un sistema moto ventilado, este proceso consiste en medir los valores de la humedad relativa en el centro del salón de producción, la medición se realiza con sensores de salida On/Off. Cuando el valor de la humedad se encuentra por debajo de un punto de referencia dado por el usuario, y sincronizado directamente sobre el sensor, la motobomba se energiza y esta ópera a una velocidad del 100%, inyectando agua a alta presión sobre una tubería que se encuentra en un recinto cerrado y que en sus extremos tiene instalados unas boquillas pulverizadoras. Un sistema moto ventilador ubicado en un extremo se encarga de impulsar esta agua pulverizada hacia el salón de producción por medio de un ductos de canalización; el ventilador opera a una velocidad constante todo el tiempo.

Cuando la humedad en el salón aumenta hasta llegar al punto de referencia, la motobomba es desenergizada y solo continúa trabajando el ventilador hasta que el sensor entregue de nuevo la orden de arranque para la motobomba.

- Control de la variable temperatura:  
Aunque el trabajo sobre la variable de proceso temperatura es limitado, dado que el sistema no consta de elementos calefactores ni componentes sofisticado de enfriamiento, se produce un control relativo de temperatura intercambiando la toma de aire del sistema por medio de tres compuertas manejadas por cilindros neumáticos, estas compuertas están ubicadas de forma que una de ellas permite el ingreso de aire del exterior al sistema de rocío, la segunda permite el ingreso de aire del interior del salón a dicho sistema y la tercer compuerta es utilizada para tomar una muestra del aire tratado del salón.

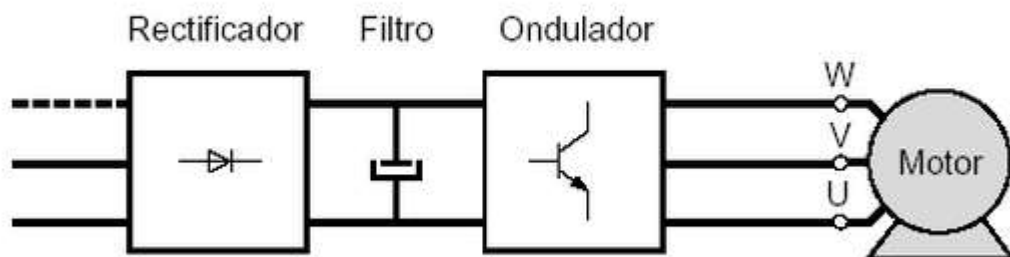
De este modo el sistema consta de un sensor de temperatura con salida On/Off el cual mide la temperatura del aire ya humidificado lo compara con un punto de referencia sincronizado en el propio sensor (por medio de un dial); si la temperatura es mayor a el punto de referencia, se abre la compuerta exterior y se cierra la compuerta interior permitiendo el ingreso de aire fresco a el sistema humidificador. Cuando la temperatura es menor al punto de referencia, situación que ocurre regularmente en las madrugadas pereiranas, se cierra la compuerta exterior y se abre la compuerta interior, permitiendo de este modo una recirculación del aire cálido que se encuentra en el interior del salón.

## 5 VARIADORES DE VELOCIDAD

El variador de velocidad es un dispositivo electrónico que está encargado de controlar la velocidad de giro de una máquina. Este dispositivo tiene un gran campo de acción en la industria, cuando se es necesario controlar velocidades de maquinarias tales como, ventiladores, equipos de aire acondicionado, equipos de bombeo, bandas transportadoras, elevadores, tornos y fresadoras, etc. La figura 3 representa el esquema de conexión de un variador de velocidad.

En definitiva, estos dispositivos entregan tensión y frecuencia variable conforme a la necesidad del motor y la carga a él conectada. Para tal efecto, toma la alimentación eléctrica de la red, la cual tiene tensión y frecuencia fija, la transforma en un tensión continuo (Rectificador más Filtro) y luego la transforma en tensión alterna trifásica de magnitud y frecuencia variable por medio de un Inversor. Contando sólo con esta última etapa (Inversor) es posible también alimentar estos motores a partir de un suministro de corriente continua (por ejemplo baterías). También se puede contar con un rectificador monofásico de modo de poder alimentar un motor trifásico a partir de una fuente de alimentación monofásica. [6]

Figura 3: Esquema de conexión de un variador de velocidad



Tomada de [7].

Los principales tipos de variadores son:

- Rectificador controlado que permite que con una alimentación alterna monofásica o trifásica, modifican el ángulo de retardo de la tensión en el cebado de los semiconductores de potencia. Este tipo de variador se utiliza principalmente para motores de corriente continua de excitación separada.
- Convertidor de frecuencia que a partir de una tensión alterna varia la frecuencia, ya que la velocidad y la frecuencia son directamente proporcionales. Es el más usado como variador de velocidad para motores de jaula síncronos.
- Variador de tensión que permite controlar el valor eficaz de la tensión. La forma de trabajo es parecida a los de rectificador controlado pero estos se utilizan normalmente como arrancadores progresivos para motores de jaula asíncronos que no requieran un par de arranque elevado y en motores asíncronos de resistencia o de anillos [8].

Estos variadores además de permitir controlar la velocidad se caracterizan por otorgar las siguientes ventajas [8]:

- Operaciones más suaves.
- Control de aceleración.
- Permitir el posicionamiento de alta precisión.
- Control del par del motor.

## **6 CONTROLADORES LÓGICOS PROGRAMABLES, PLC.**

El controlador lógico programable (PLC), es un equipo electrónico, programable en lenguaje no informático, diseñado para controlar en tiempo real y en ambiente de tipo industrial, procesos secuenciales. La Figura 4: Bloques principales de funcionamiento para un PLC, indica cómo está compuesto el sistema.

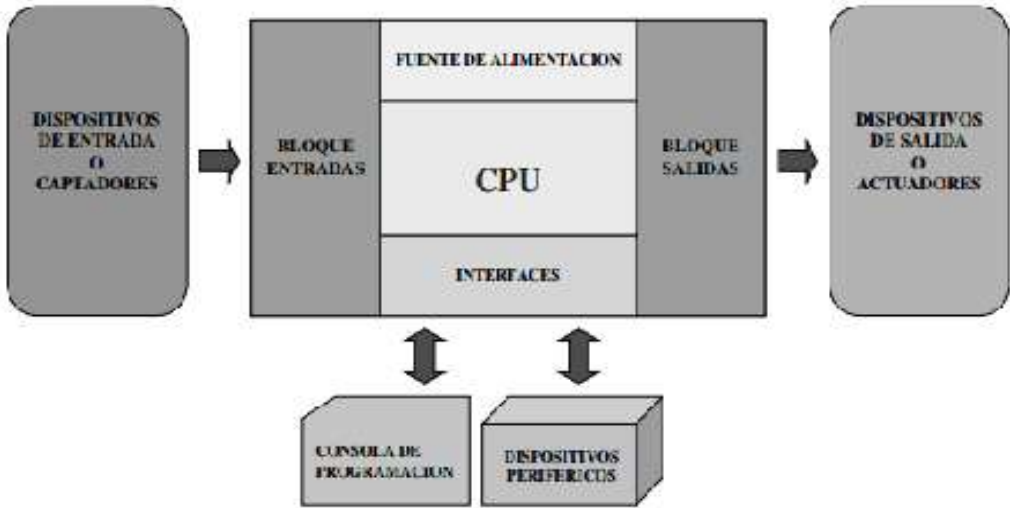
El PLC por sus especiales características de diseño tiene un campo de aplicación muy extenso. La constante evolución del hardware y software amplía constantemente este campo para poder satisfacer las necesidades que se detectan en el espectro de sus posibilidades reales [9].

Su utilización se da fundamentalmente en aquellas instalaciones en donde es necesario un proceso de maniobra, control, señalización, etc. Por tanto, su aplicación abarca desde procesos de fabricación industriales de cualquier tipo a transformaciones industriales, control de instalaciones, etc. [9]. La Figura 5: Arquitectura interna PLC, describe la su arquitectura interna.

Sus reducidas dimensiones, la extremada facilidad de su montaje, la posibilidad de almacenar los programas para su posterior y rápida utilización, la modificación o alteración de los mismos, hacen que su eficacia se aprecie fundamentalmente en procesos en que se producen necesidades tales como [9]:

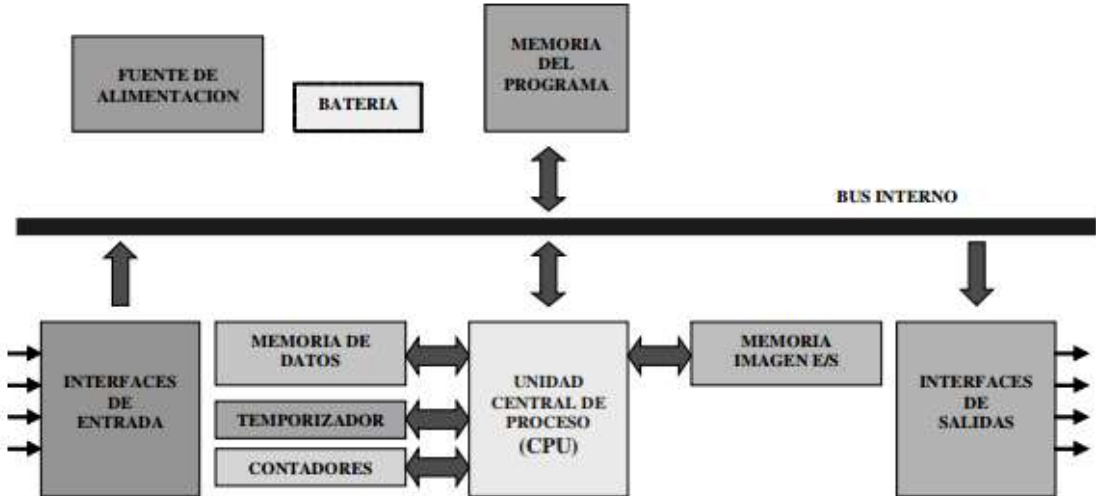
- Espacio reducido.
- Procesos de producción periódicamente cambiantes.
- Procesos secuenciales.
- Maquinaria de procesos variables.
- Instalación de procesos complejos y amplios.
- Chequeo de programación centralizada de las partes del proceso.

Figura 4: Bloques principales de funcionamiento para un PLC



Tomada de [10].

Figura 5: Arquitectura interna PLC



Tomada de [10].

## 7 CONTROL REGULADO

### 7.1 CONTROL PROPORCIONAL (P)

El control proporcional consiste en realizar un producto entre la constante proporcional y la señal de error, para así hacer posible que el error en el estado estacionario sea cero. Cuando el sistema alcanza valores superiores a los deseados se le denomina como sobre oscilación, y lo ideal es que este no puede superar el 30% por razones de seguridad [11].

La razón por la que el control on-off acaba oscilando es que el sistema sobreactúa cuando ocurre un pequeño cambio en el error, que hace que la variable manipulada cambie sobre su rango completo. Este efecto se evita en el control proporcional, ecuación 1, donde la señal de control es proporcional al error de control cuando éstos son pequeños. Se basa en la relación entre la señal de salida del controlador  $u(t)$  y la señal de error  $e(t)$  [11].

$$u(t) = Kp * e(t) \quad (1)$$

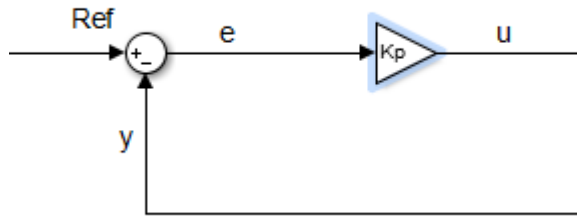
Su equivalente en función de transferencia se obtiene aplicando la transformada de Laplace, ecuación 2:

$$U(s) = kP E(s) \quad (2)$$

Donde  $Kp$  se considera la ganancia proporcional. Este tipo de controlador puede ser visto como un amplificador con una ganancia ajustable, su representación se mostrara en la figura 6 [11].



Figura 6: Diagrama de bloques control proporcional



## 7.2 CONTROL PROPORCIONAL INTEGRAL (PI)

El control integral tiene como propósito eliminar el error producido en estado estacionario por el control proporcional. El control integral actúa cuando existe una desviación entre la variable y el punto de consigna, integrando esta desviación en el tiempo y sumándola a la acción proporcional, ecuación 3.

El valor de la salida del controlador  $u(t)$  se cambia a una razón proporcional a la señal de error  $e(t)$ , [11] es decir:

$$u(t) = Kp e(t) + \frac{Kp}{Ti} \int_0^t e(t) dt \quad (3)$$

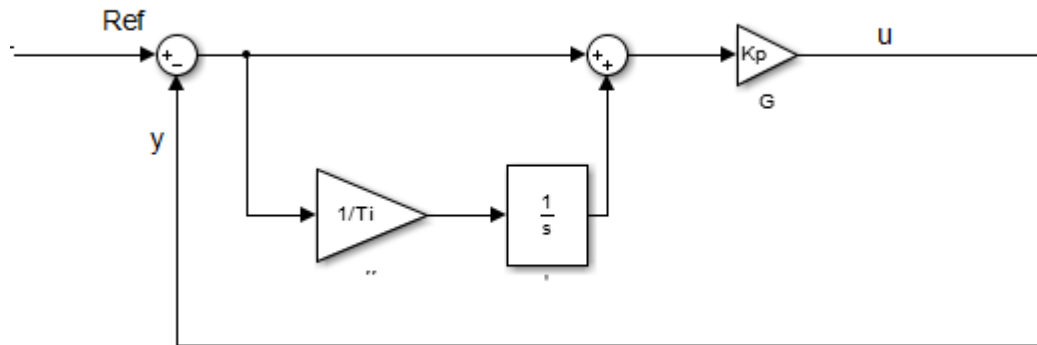
Siendo la ecuación 4 su equivalente en función de la transferencia de Laplace:

$$\frac{U(s)}{E(s)} = Kp \left( 1 + \frac{1}{Tis} \right) \quad (4)$$

Donde  $Kp$  es la Ganancia proporcional y  $Ti$  es el Tiempo Integral.

Ambos parámetros son ajustables, el tiempo integral ajusta la acción de control integral, mientras que un cambio en el valor de la ganancia proporcional, afecta las partes integral y proporcional de la acción de control. El inverso de  $Ti$  se denomina velocidad de reajuste, ésta indica la cantidad de veces por minuto que se duplica la parte proporcional de la acción de control; su representación en diagrama de bloques es el mostrado en la Figura 7: Diagrama de bloques control integral

Figura 7: Diagrama de bloques control integral



El control PI mejora el amortiguamiento y reduce el sobrepaso máximo, incrementa el tiempo de levantamiento, disminuye el ancho de banda, mejora el margen de ganancia y de fase y la magnitud de pico de resonancia y filtra el ruido a alta frecuencia. El error en estado estable se mejora con un orden, es decir, si el error en estado estable a una entrada dada es constante, el control PI lo reduce a cero. Este tipo de controlador se utiliza generalmente cuando se desea mejorar el error en estado estacionario. Los sistemas se hacen normalmente más oscilatorios, si no se ajusta correctamente se puede hacer inestable [11].

### 7.3 CONTROL PROPORCIONAL DERIVATIVO

El control derivativo, representado en la Figura 8: Diagrama de bloques control derivativo, se manifiesta cuando existe una desviación entre el punto de medida y el valor de consigna mejor conocido como error. Su función consiste en mantener el error en su mínimo valor, corrigiéndolo con respecto a la misma velocidad con la que este se produce.

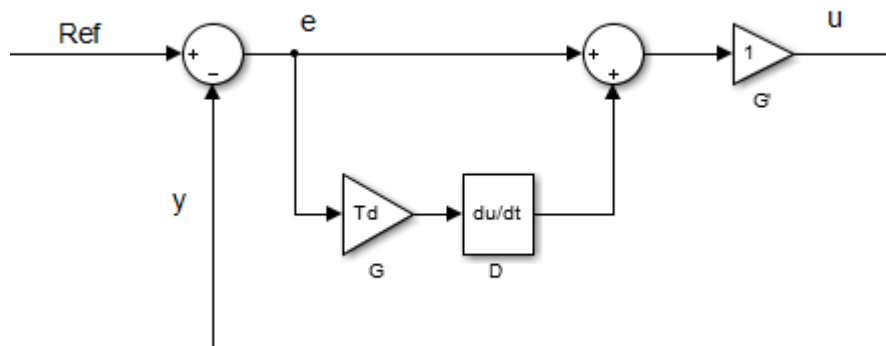
La acción y su función de transferencia por medio de la ecuación 5 con su correspondiente equivalencia el Laplace, ecuación 6.

$$u(t) = Kp e(t) + Kp Td \frac{de(t)}{dt} \quad (5)$$

$$\frac{U(s)}{E(s)} = Kp (1 + Td s) \quad (6)$$

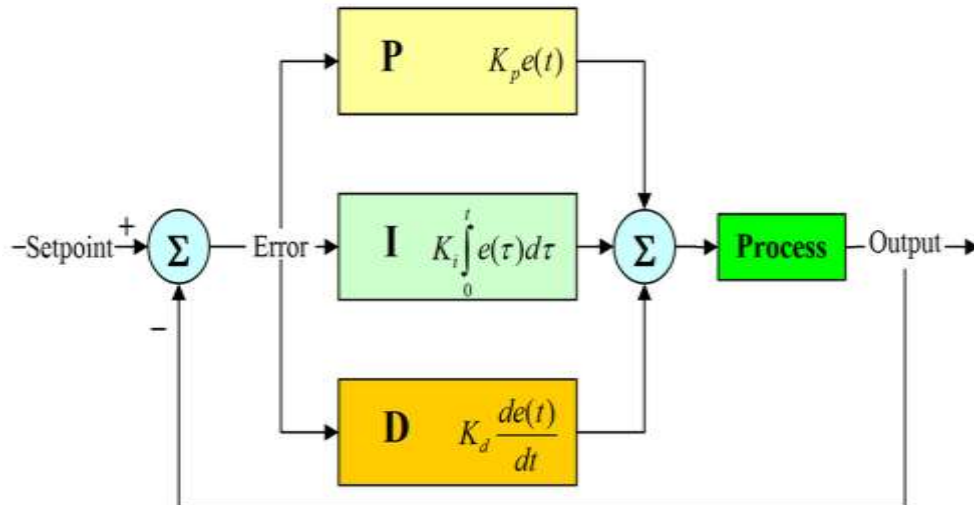
Donde  $Kp$  es la Ganancia Proporcional y  $Td$  es el Tiempo Derivativo. Su diagrama de bloques se muestra en la 8 [11].

Figura 8: Diagrama de bloques control derivativo



La magnitud de señal de salida de este tipo de acción, también llamada control de velocidad, es proporcional a la velocidad de cambio de la señal de error. La constante es el intervalo de tiempo durante el cual la acción de la velocidad hace avanzar el efecto de la acción proporcional. Este control mejora el amortiguamiento y reduce el sobrepaso máximo, reduce el tiempo de alcance y el tiempo de estacionamiento, incrementa el ancho de banda mejora el margen de ganancia y de fase y la magnitud de pico de resonancia. Como problema puede acentuar el ruido en altas frecuencias y no es efectivo para sistemas ligeramente amortiguados o inicialmente estables. El error en régimen permanente no es afectado a menos que se varíe con el tiempo [11].

Figura 9: Circuito regulador PID



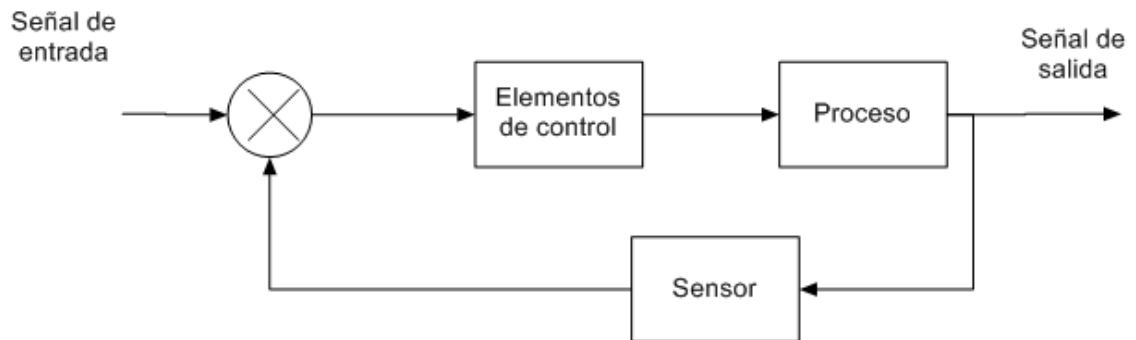
Tomada de [12]

## 7.4 CONTROL EN LAZO CERRADO

Se le denomina control de lazo cerrado, ya que el elemento primario de medición siempre está viendo la variable del proceso y le indica al controlador las variaciones que está teniendo este para enviar la salida necesaria al elemento final y así poder llevar el proceso a los valores deseados (valor de referencia) [13]. La figura 10 representa el diagrama de bloques de un control en lazo cerrado. Este controlador permite al proceso cumplir con su objetivo de transformación del material y realiza dos funciones esenciales:

- Compara la variable medida con la de referencia o deseada (set-point) para determinar el error.
- Estabiliza el funcionamiento dinámico del lazo de control mediante circuitos especiales para reducir o eliminar el error [13].

Figura 10: Diagrama de bloques de un control de lazo cerrado



Las características principales del control en lazo cerrado son:

- Ser complejos, pero amplios en cantidad de parámetros.
- La salida se compara con la entrada.
- Su prioridad de retroalimentación.
- Ser más estable a perturbaciones y variaciones internas.

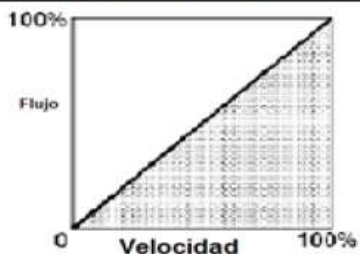
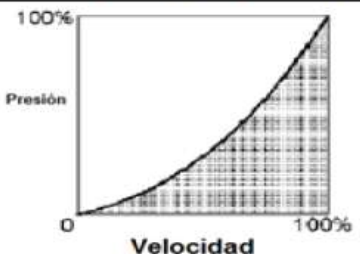
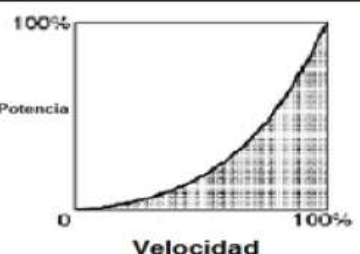
## 8 CARGAS DE PAR VARIABLE

Las cargas de Torque o Par variable son aquellas que involucran la mayoría de los casos de movimiento de fluidos, como aire y agua, con aplicaciones en bombas y ventiladores centrífugos. Existen tres leyes que gobiernan los sistemas de par variable, estas son [14]:

- El volumen de flujo es proporcional a la velocidad  $Q1/Q2 = S1/S2$
- La presión es proporcional al cuadrado de la velocidad  $H1/H2 = (S1/S2)^2$
- La potencia es proporcional al cubo de la velocidad  $P1/P2 = (S1/S2)^3$

Dónde: S1 = velocidad inicial del sistema, S2 = velocidad final del sistema, Q1 = volumen de flujo inicial, Q2 = volumen de flujo final, H1 = presión inicial, H2 = presión final, P1 = Potencia inicial requerida del sistema, P2 = Potencia final requerida del sistema [14].

Figura 11: Leyes de las cargas de par variable

<b>Flujo <math>\approx</math> Velocidad</b>	<b>Presión <math>\approx</math> (Velocidad)<sup>2</sup></b>	<b>Potencia <math>\approx</math> (Velocidad)<sup>3</sup></b>
 <p>100% Flujo 0 Velocidad 100%</p>	 <p>100% Presión 0 Velocidad 100%</p>	 <p>100% Potencia 0 Velocidad 100%</p>
<p>Variar las RPM de la bomba un 10% aumenta o reduce el flujo del fluido un 10%.</p>	<p>Reducir las RPM de la bomba un 10% reduce la presión un 19%, y un incremento del 10% aumenta la presión un 21%.</p>	<p>Reducir las RPM un 10% reduce la solicitud de potencia al motor un 27%, y un incremento del 10% aumenta el requerimiento de potencia un 33%.</p>

Tomada de [14].

La Figura 11 muestra una comparación de cada una de las leyes, indicando algunas relaciones entre las variables. De las leyes se puede concluir que la demanda de potencia al motor aumenta al cubo de la velocidad, es decir, es una carga de arranque suave, y conforme el sistema toma velocidad, la demanda de potencia aumenta [14].

**PARTE III**  
**RESULTADOS, ANÁLISIS Y CONCLUSIONES**

## 9 PLANIFICACIÓN Y DISEÑO

El sistema humidificador de aire en el cual se realizara el proceso de control y automatización está compuesto por dos equipos iguales que tienen su sistema de potencia y de control propios, dichos equipos realizan el trabajo en el mismo salón de producción (hilandería); los sistemas funcionan en disposición paralelo pero su control es totalmente independiente, ver Figura 12: Distribución de los humidificadores de aire 1 y 2.

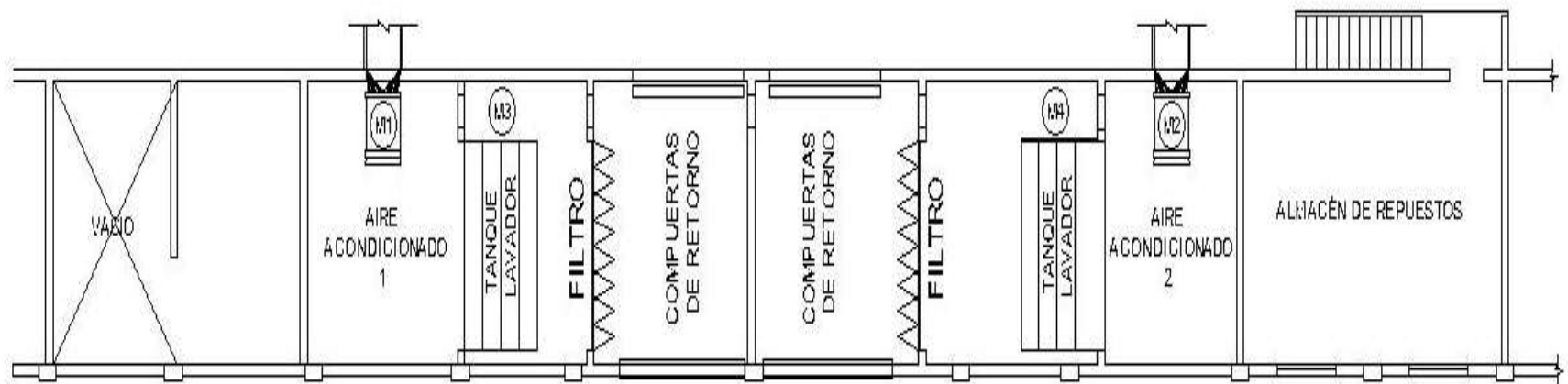
Dentro del plan de trabajo está destinado el traslado del tablero de control a un lugar más cómodo y que se encuentre dentro del área de trabajo o acción, de este modo se busca que los operadores puedan tener un fácil contacto con el control y la interfaz gráfica para identificar lo que sucede en todo momento con el sistema humidificador. Se debe destacar que en un principio el tablero de control estaba ubicado en un mezanine de difícil acceso y en donde no existe tráfico de personas, lo cual dificulta realizar un monitoreo sobre el desempeño o funcionamiento del equipo. Se anota que cuando se habla de traslado del tablero de control se hace referencia solo al lugar físico del montaje de este, debido a que el cofre será reemplazado completamente por un gabinete adecuado, de mayor tamaño que permita alojar los elementos necesarios para realizar el proyecto de automatización.

Del cambio de ubicación del tablero de control se desprende un trabajo extra que consiste en cablear nuevamente tanta potencia para alimentar el nuevo tablero como llevar las líneas hacia los elementos de maniobra y control del proceso. Se aprovecha este episodio para cambiar el tipo de cableado pasando de sistema subterráneo al sistema aéreo por medio de bandejas porta cable.

De este modo se centra el trabajo en identificar todos los elementos que componen el sistema de humidificación así como las características propias de cada uno de ellos para tener en cuenta cuáles de ellos requieren ser reemplazados y como se encuentra la mejor puesta a punto del conjunto de elementos.



Figura 12: Distribución de los humidificadores de aire 1 y 2



## **9.1 PLAN DE FUNCIONAMIENTO PARA EL EQUIPO AUTOMATIZADO**

Partiendo del hecho de mejorar las condiciones o comportamiento de las variables de humedad relativa y temperatura al interior del salón de producción, además de mejorar los consumos de agua potable y energía eléctrica se utilizan herramientas de control y automatización industrial, de este modo se optimiza el sistema humidificador otorgando una actualización importante en tecnología y recursos para realizar su control.

El funcionamiento central estará a cargo de un controlador lógico programable (PLC), este dispositivo acompañado por una interface hombre maquina o HMI permiten la interacción entre el operador y el equipo para lograr direccionar el desempeño a un nivel o punto de operación deseado.

En este proyecto, por medio de la interfaz hombre maquina se entregaran los parámetros al sistema es decir, se pueden brindar los puntos de referencia para el sistema humidificador de aire que son: referencia para temperatura y humedad del aire número uno y punto de referencia para temperatura y humedad del aire número dos, se ajusta la hora local y se contara con la posibilidad de realizar el control manual del equipo, manipular el encendido independiente de los motores y compuertas del proceso, es importante resaltar que en esta interface se manifestara gráficamente el comportamiento de ambos lavadores de aire y se entregan datos claros de los valores actuales de las variables de proceso y de los porcentajes de velocidad de operación de los motores eléctricos.

El manejo de los ventiladores y bombas, ambos sistemas accionados por motores eléctricos, se llevara a cabo por medio de variadores de velocidad , este proceso será realizado para poder modificar la velocidad de operación de dichos sistemas y así poder alcanzar todo el beneficio que entrega la operación correcta de cargas de par variable, las referencias de velocidad será proporcionados por el PLC, son independientes para cada uno de los elementos y se obtienen después de pasar por el algoritmo presente en este. Las mediciones de las variables se realizara por medio de transductores analógicos con salida de 4\_20mA los cuales entregan sus resultados a el PLC y este después de procesar la información entregara la orden de control de los sistemas moto ventilador figura 13 y motobomba figura 14. Para ello se procederá a cambiar los transductores de humedad y temperatura, pasando de salidas On/Off a salidas analógicas con rango de 4\_20mA para señales de (-39 a 60)°C y (0 a 99) % de humedad relativa.

Figura 13: Moto ventilador aire número 1



Figura 14: Motobomba aire número 2



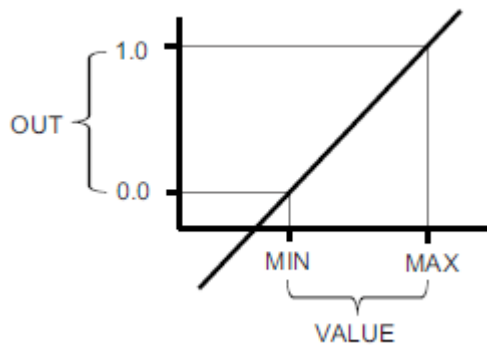
## 9.2 TRATAMIENTO DE SEÑALES ANALÓGICAS

Se destaca que para trabajar con señales analógicas de entrada o salida se precisa realizar el correspondiente tratamiento a estas, para poder ser procesadas en el algoritmo de programación, se definen a continuación los conceptos básicos para realizar este proceso.

### 9.2.1 Normalizar

La instrucción "Normalizar" (NORM\_X) normaliza el valor de la variable de la entrada VALUE representándolo en una escala lineal. Los parámetros MIN y MAX sirven para definir los límites de un rango de valores que se refleja en la escala. En función de la posición del valor que se debe normalizar en este rango de valores, el resultado se calcula y se deposita como número en coma flotante en la salida OUT. Si el valor que se debe normalizar es igual al valor de la entrada MIN, la salida OUT devuelve el valor "0.0". Si el valor que se debe normalizar es igual al valor de la entrada MAX, la salida OUT devuelve el valor "1.0" La figura 15 muestra un ejemplo de cómo pueden normalizarse los valores. [15]

Figura 15: Normalizar valores



La instrucción normalizar utiliza la ecuación 7

$$OUT = (VALUE - MIN) / (MAX - MIN) \quad (7)$$

La salida de habilitación ENO devuelve el estado lógico "0" cuando se cumple una de las Condiciones siguientes:

- La entrada de habilitación EN devuelve el estado lógico "0".
- El valor de la entrada MIN es mayor o igual al valor de la entrada MAX.
- El valor de un número en coma flotante indicado está fuera del rango de los números Normalizados según IEEE-754.
- El valor de la entrada VALUE es NaN (resultado de una operación aritmética no válida). [15] La tabla 1 muestra los parámetros de la instrucción "Normalizar":

Tabla 1: Instrucción Normalizar

Parámetro	Declaración	Tipo de datos	Área de memoria	Descripción
EN	Input	BOOL	I, Q, M, D, L	Entrada de habilitación
ENO	Output	BOOL	I, Q, M, D, L	Salida de habilitación
MIN	Input	Enteros, números en coma flotante	I, Q, M, D, L o constante	Límite inferior del rango de valores
VALUE	Input	Enteros, números en coma flotante	I, Q, M, D, L o constante	Valor que se normaliza.
MAX	Input	Enteros, números en coma flotante	I, Q, M, D, L o constante	Límite superior del rango de valores
OUT	Output	Números en coma flotante	I, Q, M, D, L	Resultado de la normalización

### 9.2.2 Escalar

Con la instrucción "Escalar" (SCALE) se convierte el entero del parámetro IN en un número en coma Flotante que se escala en unidades físicas entre un límite inferior y uno superior. Los límites inferior y superior del rango de valores en el que se escala el valor de entrada se definen mediante los parámetros LO\_LIM y HI\_LIM. El resultado de la instrucción se deposita en el parámetro OUT. [15] La instrucción "Escalar" utiliza la siguiente ecuación 8:

$$OUT = [((FLOAT(IN) - K1) / (K2 - K1)) * (HI\_LIM - LO\_LIM)] + LO\_LIM \quad (8)$$

El estado lógico del parámetro BIPOLAR determina los valores de las constantes "K1" y "K2".

El parámetro BIPOLAR puede tener los siguientes estados lógicos:

- Estado lógico "1": se presupone que el valor del parámetro IN es bipolar y está en un rango de valores entre -27648 y 27648. En este caso, la constante "K1" tiene el valor "-27648,0" y la constante "K2", el valor "+27648,0".
- Estado lógico "0": se presupone que el valor del parámetro IN es unipolar y está comprendido en un rango de valores entre 0 y 27648. En este caso, la constante "K1" tiene el valor "0,0" y la constante "K2", el valor "+27648,0"

Si el valor del parámetro IN es mayor que el de la constante "K2", el resultado de la instrucción se pone al valor del límite superior (HI\_LIM) y se emite un error.

Si el valor del parámetro IN es menor que el de la constante "K1", el resultado de la instrucción se pone al valor del límite inferior (LO\_LIM) y se emite un error. [15]

Si el límite inferior indicado es mayor que el límite superior ( $LO\_LIM > HI\_LIM$ ), el resultado se escala de forma inversamente proporcional al valor de entrada. La tabla 2 muestra los parámetros de la instrucción "Escalar" [15]

Tabla 2: Instrucción escalar

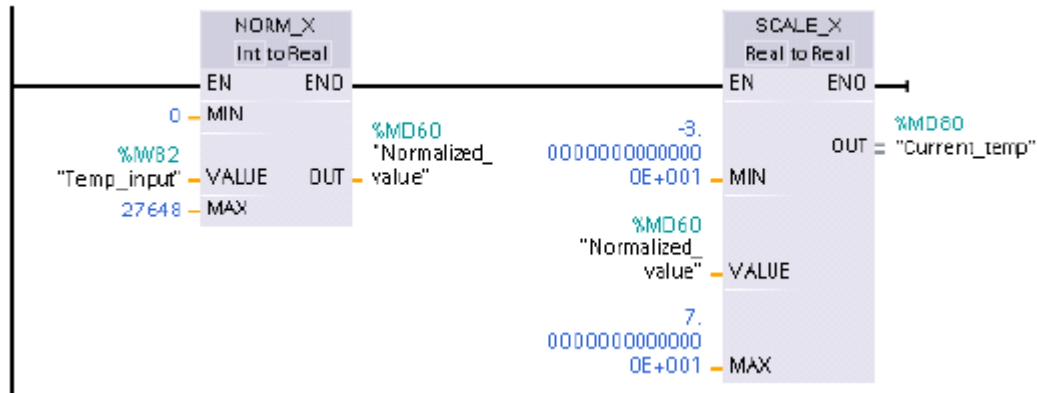
Parámetro	Declaración	Tipo de datos	Área de memoria	Descripción
EN	Input	BOOL	I, Q, M, D, L	Entrada de habilitación
ENO	Output	BOOL	I, Q, M, D, L	Salida de habilitación
IN	Input	INT	I, Q, M, D, L, P o constante	Valor de entrada que se escala.
HI_LIM	Input	REAL	I, Q, M, D, L, P o constante	Límite superior
LO_LIM	Input	REAL	I, Q, M, D, L, P o constante	Límite inferior
BIPOLAR	Input	BOOL	I, Q, M, D, L o constante	Indica si el valor del parámetro IN se interpreta como bipolar o unipolar. El parámetro puede adoptar los valores siguientes: 1: Bipolar 0: Unipolar
OUT	Output	REAL	I, Q, M, D, L, P	Resultado de la instrucción
RET_VAL	Output	WORD	I, Q, M, D, L, P	Información de error

### 9.2.3 Ejemplo (KOP): Normalización y escalado de un valor de entrada analógica

Una entrada analógica de un módulo de señales analógicas o Signal Board que usa entrada de intensidad se encuentra en el rango de valores válidos entre 0 y 27648. Suponiendo que una entrada analógica representa una temperatura en la que el valor 0 de la entrada analógica representa -30,0 grados C y 27648 representa 70,0 grados C.

Para transformar el valor analógico en las correspondientes unidades de ingeniería, normalice la entrada a un valor entre 0,0 y 1,0 y a continuación escálelo entre -30,0 y 70,0 El valor resultante es la temperatura representada por la entrada analógica en grados. [16]

Figura 16: Ejemplo de normalización y escalado de un valor de entrada analógica [16]



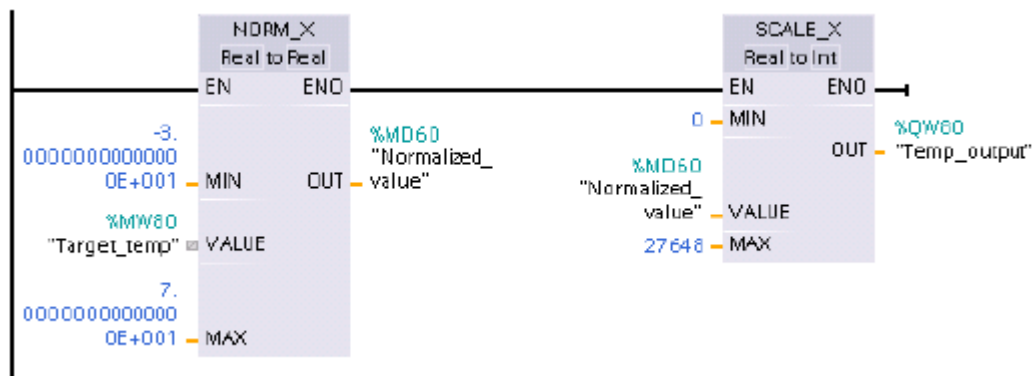
La figura 16 representa un ejemplo de la forma en que se debe normalizar y escalar una entrada analógica. Recuerde que si la entrada analógica provenía de un módulo de señales analógicas o una Signal Board con tensión, el valor MIN para la instrucción NORM\_X sería -27648 en lugar de 0.

#### 9.2.4 Ejemplo (KOP): Normalización y escalado de un valor de salida analógico.

Una salida analógica de un módulo de señales analógicas o Signal Board que utiliza una salida de intensidad debe estar en el rango de valores válidos entre 0 y 27648. Supongamos que una salida analógica representa un ajuste de temperatura en el que el valor 0 de la entrada analógica representa -30,0 grados Celsius y 27648 representa 70,0 grados Celsius.

Para convertir un valor de temperatura guardado que se encuentra entre -30,0 y 70,0 en un valor para la salida analógica dentro del rango entre 0 y 27648, es necesario normalizar el valor correspondiente a unidades de ingeniería en un valor entre 0,0 y 1,0, y a continuación escalarlo al rango de la salida analógica, de 0 a 27648. [16]

Figura 17: Ejemplo de normalización y escalado de un valor de salida analógico. [16]



Recuerde que si la salida analógica estaba destinada a un módulo de señales analógicas o una Signal Board con tensión, el valor MIN para la instrucción SCALE\_X sería -27648 en lugar de 0. [16]

### 9.3 DISEÑO TABLERO DE CONTROL.

Partiendo del principio de funcionamiento del equipo y de los ajustes deseados en el control del sistema se procedió a elaborar la lista de materiales a utilizar para realizar la automatización de los humidificadores de aire uno y dos, ver tabla 3.

Tabla 3: Lista de materiales utilizados en el proyecto

CONCEPTO	CANTIDAD (unidades)
Convertidor de frecuencia marca ABB ACS 550, 440vac, 3 fases, 60 Hz, 22 KW.	2
Convertidor de frecuencia marca ABB ACS 550, 440vac, 3 fases, 60 Hz, 5.5 KW.	2
CPU 1214C, simatic STEP S7-1200 DI 14*24DC/AI2, DQ 10*rele	1
Modulo SM 1234 de 4 AI/ 2 AQ simatic step 7, s7-1200	2
HMI simatic, siemens Basic color de 6"	1
Modulo CM 1241comunicacion RS422/485 simatic step 7, s7-1200	1
Relé finder ref.: 38.51.7.024.0050, con bobina a 24VDC, contacto 6A/250V	8
Tablero de control de 180cm de altura, 60cm de profundidad, 80cm de ancho	2
Sensor de temperatura y/o humedad autonics serie THD WD1-C	4
interruptor legrand DPX-U tripolar de 125 A	1
interruptor legrand DPX-U tripolar de 40 A	2
interruptor legrand DPX-U tripolar de 16 A	2
Borne viking 3 legrand ref. 037161	90
Prensa estopa Legrand ref. PG16	10
Amarre plástico de 10 cm.	100
Amarre plástico de 30 cm.	100
Prensa estopa Legrand ref. PG21	10
Riel omega simétrico	4*1m
Freno para riel simétrico, Legrand	4
Borne viking 3 para conductor de tierra legrand ref. 037170	25
Terminal saris legrand para calibre 18 ref. 037663	200
Cable de instrumentación Teldor 4 hilos calibre 18 ref.: 8BMP 109109	180m
Cable calibre 6 AWG color negro	550 m
Cable calibre 12 AWG color negro	460 m
Cable calibre 14 AWG color verde	80 m



Cable calibre 18 AWG color rojo	20 m
Cable calibre 18 AWG color blanco	20 m
Cable calibre 18 AWG color azul	20 m
Cable calibre 10 AWG color verde	75 m
Cable calibre 2 AWG color negro	85 m
Cable calibre 2 AWG color verde	30 m
Guarda motor Schneider ref. GV2ME06	1
Fuente de voltaje 110/220 VAC a 24VDC Schneider ref.: ABL8REM24050	1
Mini interruptor automático IC60N Schneider de 4	1
Mini interruptor automático IC60N Schneider de 2	1
Interruptor selector de dos posiciones	2
Botón pulsador rasante color verde	2
Botón pulsador rasante color rojo	2
barra de cobre de 1/4" *1/2"	3 m
Transformador monofásico de 440/220 VAC	1
Cartuchos de tinta	1
Fotocopias	500
Resma Papel	1
Lapiceros	2
Carpetas	5
Empastado	2
CD	2
Cinta aislante scotch 3M	2

El paso siguiente consistió el diseñar el exterior del tablero de control, ver Figura 18: Diseño de exterior tablero de control.

La distribución de los elementos de control y potencia en el tablero se pueden observar en la Figura 19: Diseño de interior tablero de control, en donde los elementos de mayor tamaño, los variadores de velocidad, se alojan en el lado derecho del gabinete para facilitar el tema de refrigeración de estos. La Figura 19: Diseño de interior tablero de control, contiene las nominaciones abreviadas de los componentes que están alojados en el tablero, en la tabla 4 se puede observar el significado de estas.

Figura 18: Diseño de exterior tablero de control

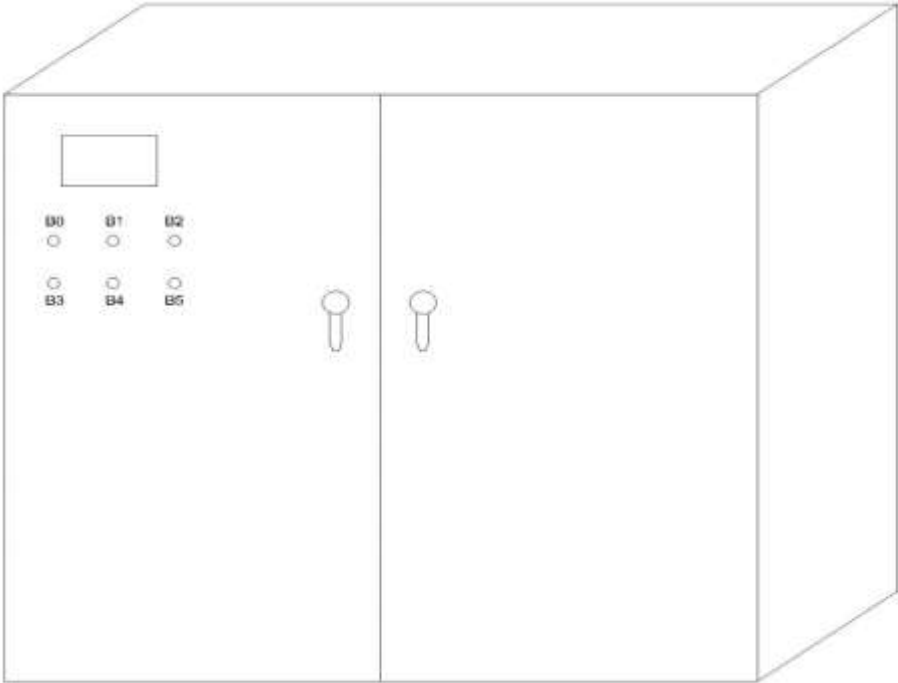


Figura 19: Diseño de interior tablero de control

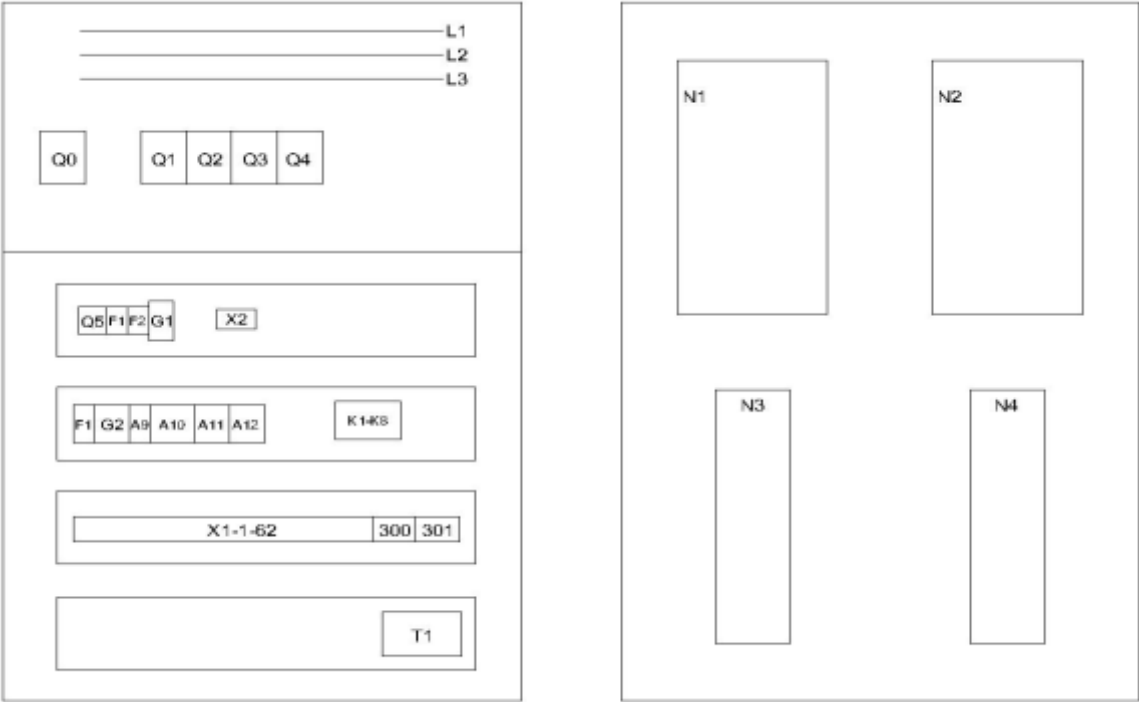


Tabla 4: Elementos en el tablero de control y sus abreviaciones

<b>ELEMENTO</b>	<b>DESIGNACIÓN</b>
Modulo CM 1241comunicacion RS422/485 , s7-1200	A9
CPU 1214 c de PLC siemens s7_1200	A10
Modulo SM 1234 de 4 AI/ 2 AQ simatic step 7, s7-1200	A11
Modulo SM 1234 de 4 AI/ 2 AQ simatic step 7, s7-1200	A12
HMI simatic, siemens Basic color de 6"	A13
Interruptor manual/automático, aire1	B0
Pulsador verde, 1 contacto NO, arranque aire 1	B1
Pulsador rojo, 1 contacto NC, paro aire 1	B2
Interruptor manual/automatico, aire2	B3
Pulsador verde, 1 contacto NO, arranque aire 2	B4
Pulsador rojo, 1 contacto NC, paro aire 2	B5
Interruptor termonagnetico	F1
Interruptor termonagnetico	F2
Interruptor termonagnetico	F3
Fuente de poder de 24VDC; general	G1
Fuente de poder de 24VDC, alimentación PLC	G2
Variador de velocidad ABB para ventilador aire 1	N1
Variador de velocidad ABB para ventilador aire 2	N2
Variador de velocidad ABB para moto bomba aire 1	N3
Variador de velocidad ABB para moto bomba aire 2	N4
Lámpara 1 tablero de control	L1
Lámpara 2 tablero de control	L2
Cilindro neumático compuerta exterior aire 1	P1
Cilindro neumático compuerta interior aire 1	P2
Cilindro neumático compuerta exterior aire 2	P3
Cilindro neumático compuerta interior aire 2	P4
Interruptor automático trifásico, totalizador	Q0
Interruptor automático trifásico, variador N1	Q1
Interruptor automático trifásico, variador N2	Q2
Interruptor automático trifásico, variador N3	Q3
Interruptor automático trifásico, variador N4	Q4
Interruptor automático trifásico, trafo T1	Q5
Interruptor seccionador trifásico	Q6
Relé 24 VDC, arranque variador N1	K1
Relé 24 VDC, arranque variador N3	K2
Relé 24 VDC, arranque variador N2	K3
Relé 24 VDC, arranque variador N4	K4
Relé 24 VDC, compuerta aire 1	K5
Relé 24 VDC, compuerta aire 2	K6
Relé 24 VDC, libre	K7
Relé 24 VDC, libre	K8

Regulador de presión aire 1	R1
Regulador de presión aire 2	R2
Micro switch puerta, encendido lámpara L1	S1
Micro switch puerta, encendido lámpara L2	S2
Sensor de temperatura aire 1	S3
Sensor de humedad aire 1	S4
Sensor de temperatura aire 2	S5
Sensor de humedad aire 2	S6
Transformador monofásico 440/220 VAC	T1
Ventilador exterior 1, 220VAC	V1
Ventilador exterior 2, 220VAC	V2
Bornera de conexión	X1
Bornera de conexión	X2
Electroválvula 5/2, bobina 220VAC marca Festo	Y1
Electroválvula 5/2, bobina 220VAC marca Festo	Y2

## 9.4 DISEÑO DE ALGORITMO DE PROGRAMACIÓN

Para el correcto diseño del algoritmo de programación fue necesario definir las entradas y salidas del sistema con sus respectivas direcciones, además se definió dos modos de operación para el control, los cuales serán controlados por una perilla selectora, una para cada humidificador, los modos de operación son el modo automático y el modo de servicio.

### 9.4.1 Descripción de entradas y salidas del PLC

Para el diseño del algoritmo de programación a utilizar en el PLC y en la HMI se establecen una serie de entradas y salidas tanto análogas como digitales, las cuales hacen posible la optimización del sistema humidificador de aire, la tabla 5 hace referencia a las entradas digitales, en la tabla 6 se indica las salidas digitales, la tabla 7 indica las entradas analógicas mientras que en la tabla 8 se enumeran las salidas analógicas del sistema. La conexión de las entradas y salidas se puede observar en la Figura 20: Entradas/ salidas PLC.

Tabla 5: Entradas digitales del PLC

<b>Entrada DI/Modulo</b>	<b>Designación</b>
a0/A10	Manual/automático aire 1
a1/A10	Aire 1 ON
a2/A10	Aire 1 OFF
a3/A10	Manual/automático aire 2
a4/A10	Aire 2 ON
a5/A10	Aire 2 OFF
a6/A10	Paro de emergencia
a7/A10	Libre

b0/A10	Libre
b1/A10	Libre
b2/A10	OI ventilador aire 1
b3/A10	OI moto bomba aire 1
b4/A10	OI ventilador aire 2
b5/A10	OI moto bomba aire 2

Tabla 6: Salidas digitales

<b>Salida DQ/Modulo</b>	<b>Descripción</b>
a0/A10	ON/OFF ventilador aire 1
a1/A10	ON/OFF ventilador aire 1
a2/A10	ON/OFF ventilador aire 1
a3/A10	ON/OFF ventilador aire 1
a4/A10	Libre
a5/A10	Electroválvula aire 1
a6/A10	Electroválvula aire 2
a7/A10	Libre
b0/A10	Libre
b1/A10	Libre

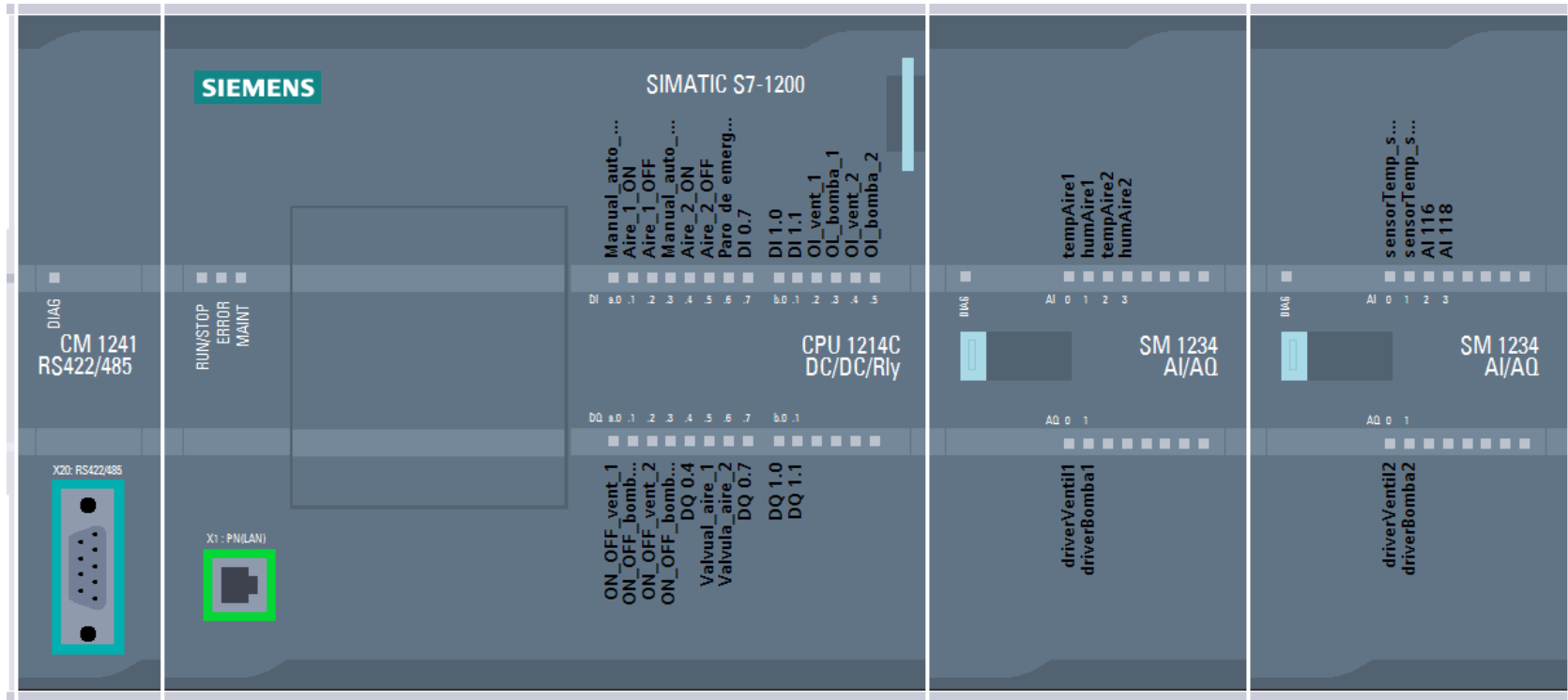
Tabla 7: Entradas análogas

<b>Entrada AI/Modulo</b>	<b>Descripción</b>
a0/A11	Temperatura aire 1
a1/A11	Humedad aire 1
a2/A11	Temperatura aire 2
a3/A11	Humedad aire 2
a0/A12	Temperatura_2 aire 1
a1/A12	Temperatura_2 aire 2
a2/A12	Libre
a3/A12	Libre

Tabla 8: Salidas analógicas

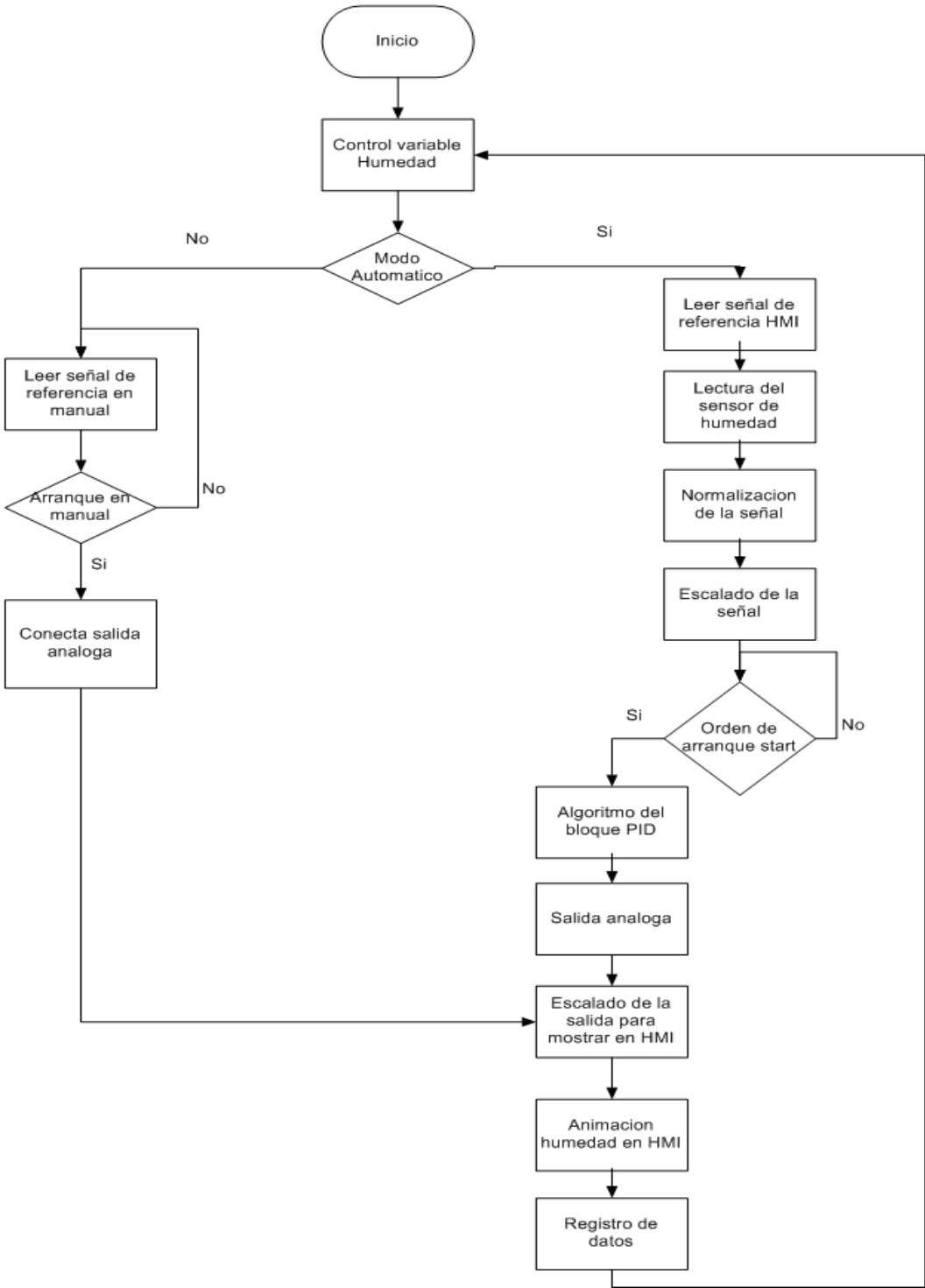
<b>Salida AQ/Modulo</b>	<b>Descripción</b>
a0/A11	Drive ventilador aire 1
a1/A11	Drive ventilador aire 2
a0/A12	Drive ventilador aire 1
a1/A12	Drive ventilador aire 2

Figura 20: Entradas/ salidas PLC

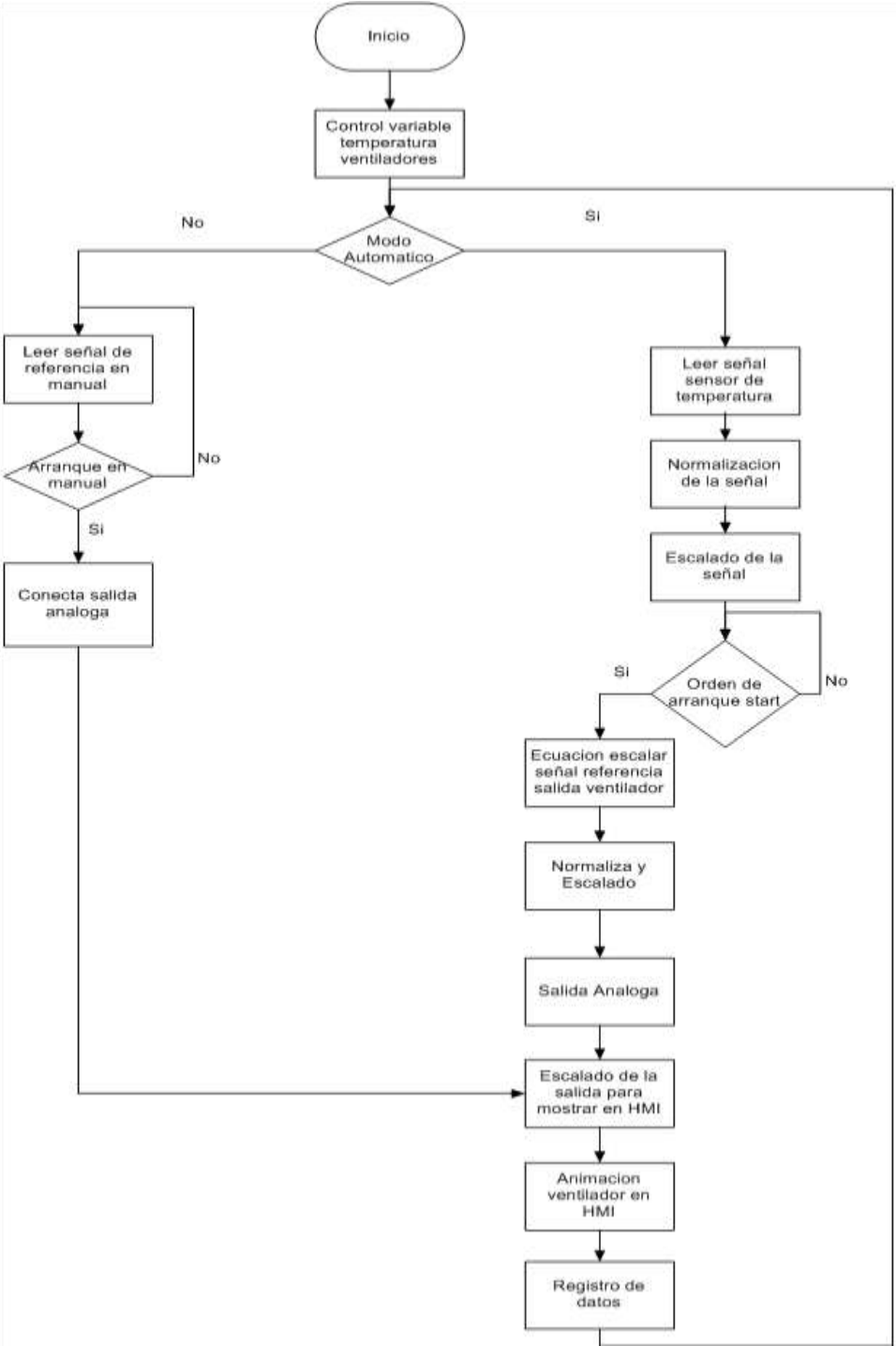


9.4.2 Diagrama de flujo general del código de programación.

9.4.2.1 Control humedad relativa

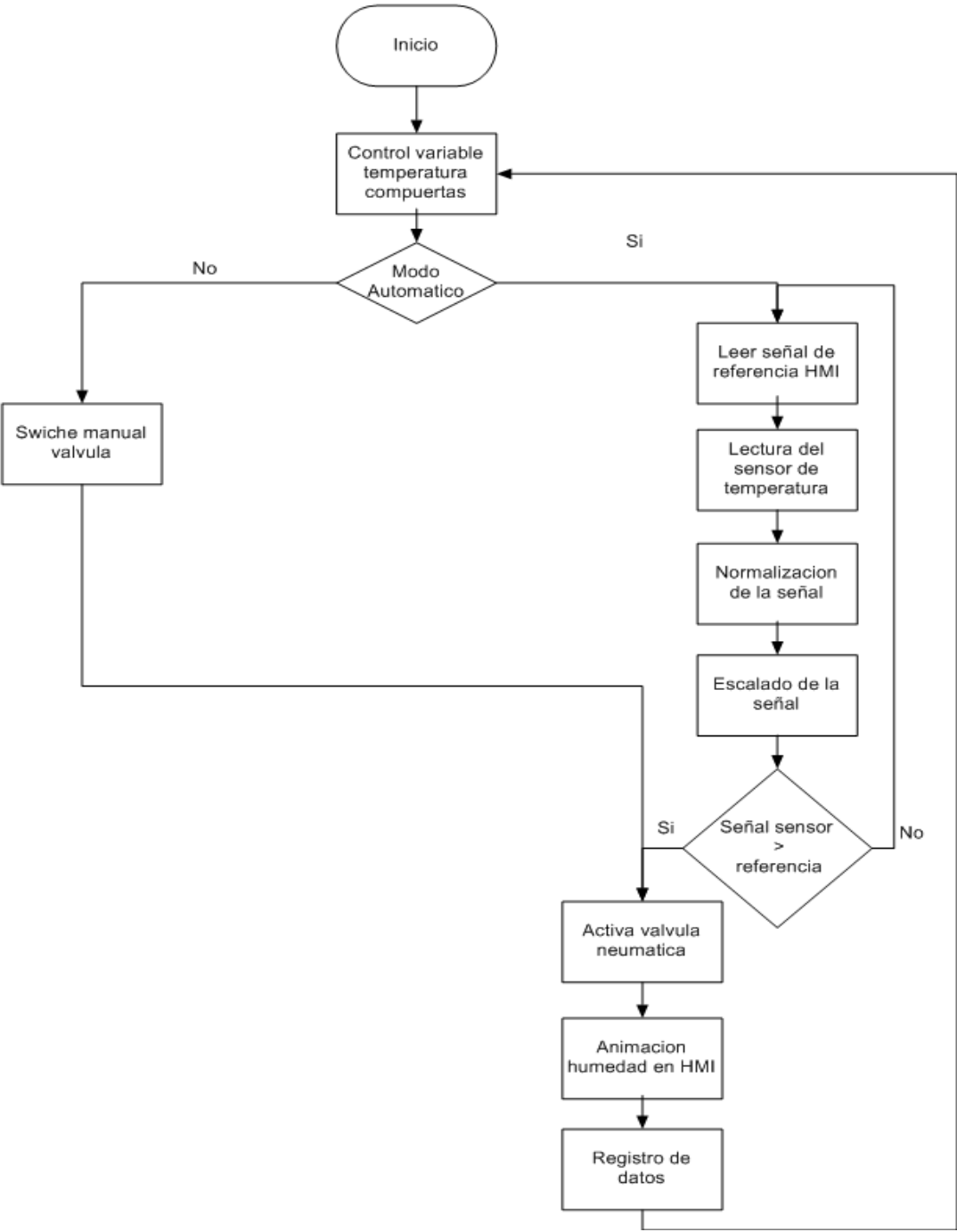


9.4.2.2 Control temperatura, ventiladores





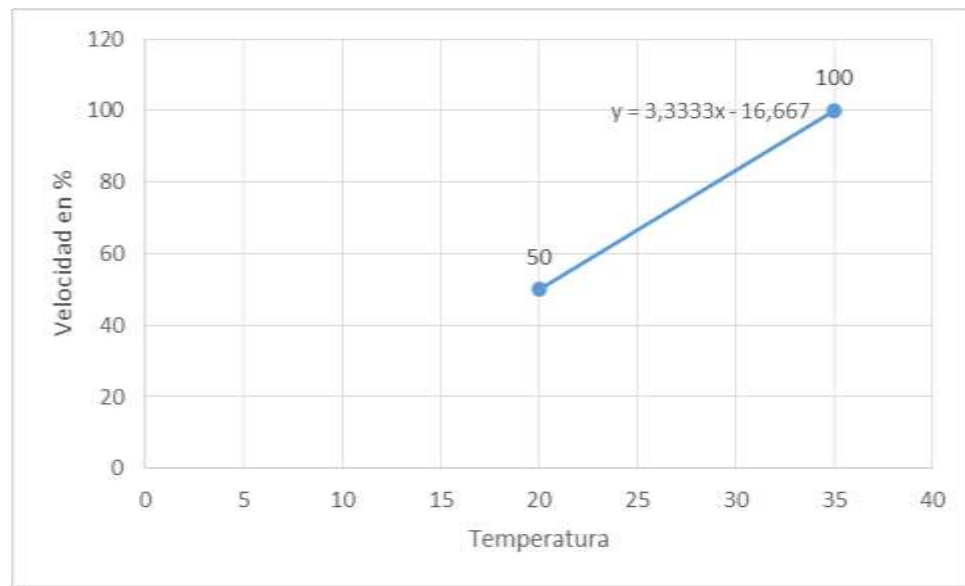
9.4.2.3 Control temperatura, compuertas



### 9.4.3 Modo automático:

El modo de trabajo automático inicia al seleccionar la switch BO/B3 para el aire uno/dos respectivamente, Ver Figura 18: Diseño de exterior tablero de control. En modo automático, el sistema queda presto a recibir la orden de marcha por parte del pulsador On (B1/B4); al encender el sistema el moto ventilador pasa a estado operativo por medio del variador de velocidad, su referencia de trabajo será entregada por la salida analógica del PLC y el valor de esta se obtiene mediante el método de escalar el valor de la temperatura al interior del salón de producción. El método empleado consiste en trabajar con las temperaturas límites al interior del salón, estas son máximo 35°C y mínimo 20°C para estas temperaturas las referencias en porcentaje de velocidad son 100% y 20% respectivamente, ver figura 21.

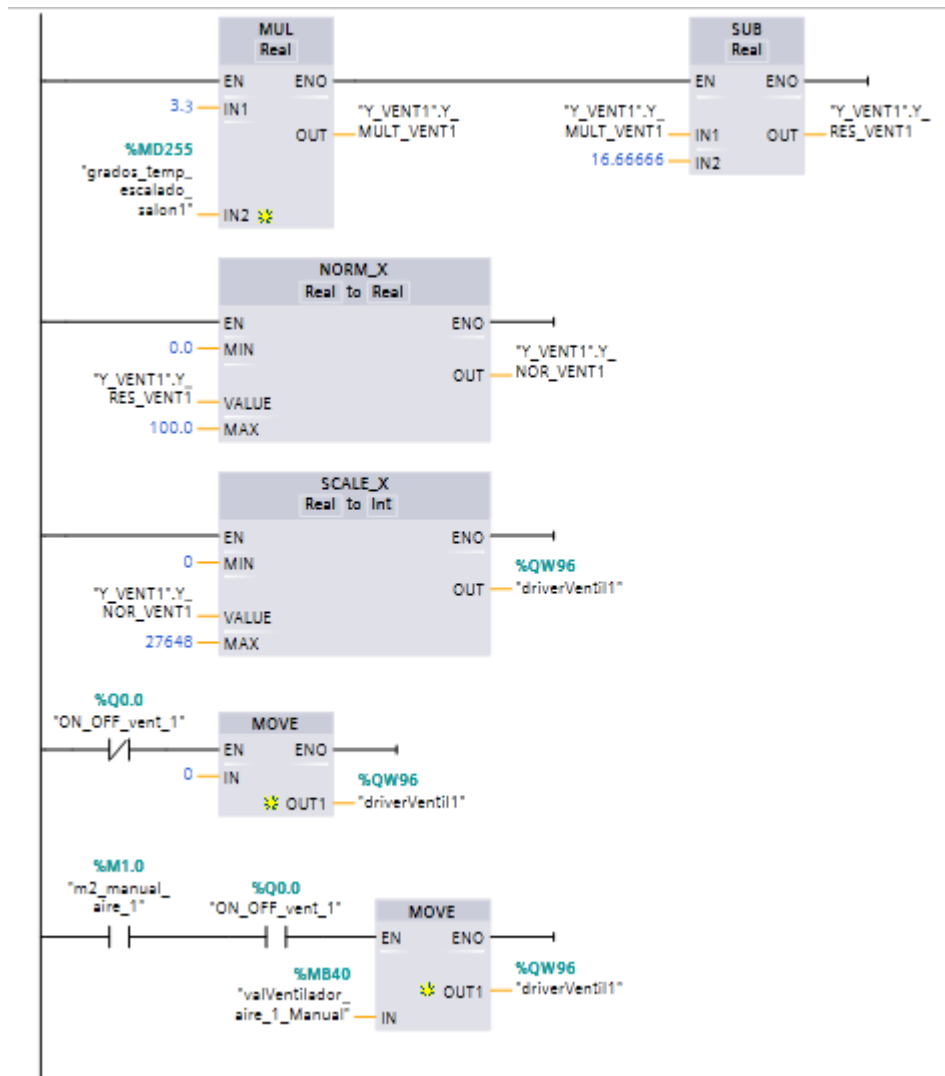
Figura 21: Escalar velocidad en moto ventilador



De este modo, la referencia de velocidad para el ventilador está dada por la ecuación 9, recta que se presenta en la figura 21, siendo la temperatura la variable independiente y el porcentaje de velocidad la variable dependiente. Este procedimiento nos permite obtener el mayor ahorro de energía eléctrica ya que el motor que impulsa el ventilador tiene una potencia significativa (26,8 KW), al modificar constantemente su velocidad de trabajo y por el hecho de ser carga de par variable nos permite minimizar la potencia eléctrica demandada, el efecto es directo, la temperatura en la medida que cae la tarde empieza a descender y con ella el consumo de energía eléctrica, presentándose el mayor impacto a la madrugada, por otra parte se puede afirmar que el momento de mayor consumo se presenta después del mediodía, en donde la temperatura regularmente alcanza su mayor valor. Se debe aclarar que La velocidad mínima de referencia para valores de temperatura inferiores a 20°C será del 50% de la velocidad nominal del motor. La figura 22 muestra la ecuación de velocidad de referencia implementada en el software Step 7 v12 y su respectiva salida analógica a variador de velocidad.

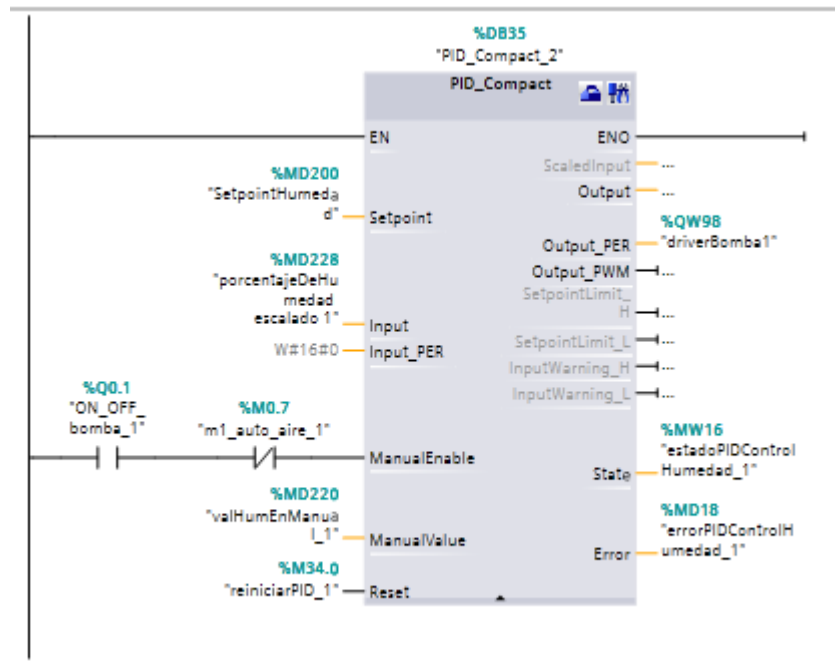
$$Y = 3.333x - 16.667 \quad (9)$$

Figura 22: Implementación referencia de velocidad moto ventilador.



Paso seguido se presenta la orden de arranque hacia la motobomba, esta es controlada por un PID que tiene como señal de entrada o referencia la humedad relativa medida al interior del salón de producción, este regulador PID, figura 23, entrega su salida de referencia a las salidas analógicas del PLC para posteriormente llegar al variador de velocidad que maneja la moto bomba, en la programación de dicho variador se limita la velocidad mínima al 20%.

Figura 23: Implementación de PID en software.



dado que la motobomba no puede girar a velocidades inferiores porque podría deteriorar el sello de la bomba, de este modo en el momento que el PID envíe una referencia inferior al 20% la motobomba no encenderá, esta empezará su trabajo después que esta señal de referencia supere el valor de porcentaje mencionado y regulará la velocidad de la motobomba acorde a la señal entregada por el PID proporcionando un constante ahorro de energía eléctrica ya que la bomba está catalogado como carga de par variable, otro efecto conseguido con esta maniobra es reducir el consumo de agua potable empleado para realizar la tarea de humidificación del salón, además de ello se mantiene mucho más estable el comportamiento de la variable humedad relativa.

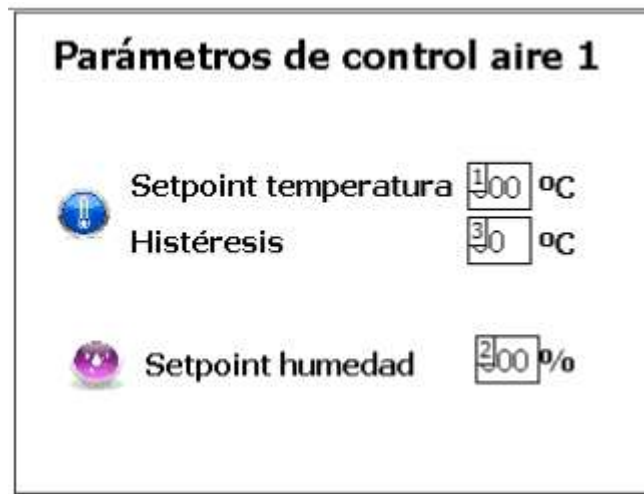
El sensor de temperatura montado en la salida del aire humidificado tiene como función principal controlar la toma de aire, conmutando el ingreso de aire del exterior si la temperatura en el salón es mayor del que la temperatura de referencia por el contrario se conmutará la entrada del aire interior o recirculación si la temperatura del interior del salón es inferior que la temperatura de referencia.

Se debe tener presente que antes de encender el sistema se debe haber entrado los parámetros el equipo, figura 24 y 25, brindando la referencias o set point de las variables humedad relativa y temperatura para cada uno de los equipos, esta función se realiza desde la interface hombre máquina y se almacena hasta que el usuario realice una nueva modificación sobre estos valores. Por ultimo al seleccionar el pulsador de paro, B2/B5, para Humidificador 1/2, este pasará a función de paro.

Figura 24: Imagen HMI menú de configuración.



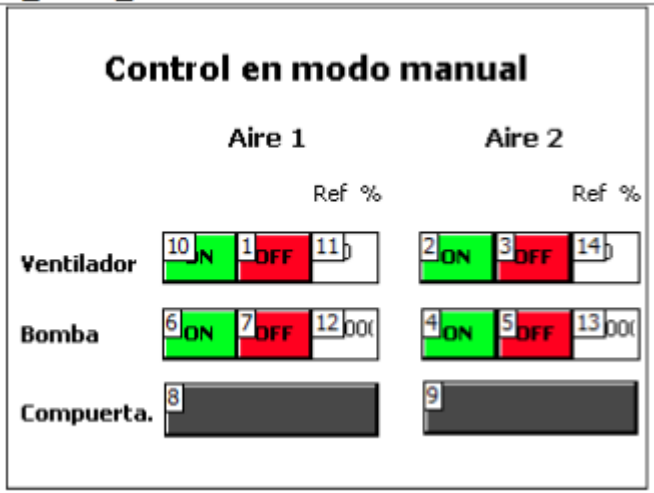
Figura 25: Imagen HMI, parámetros aire 1



#### 9.4.4 Modo Manual

El modo manual o modo de servicio tiene como función permitir la manipulación individual y autónoma de los moto ventiladores, moto bombas y compuertas de acceso en la toma de aire; en el momento de seleccionar esta función por medio del switch B0/B3 para humidificador 1 y 2 respectivamente, se habilita en la interface hombre maquina una pantalla, figura 26, en este sitio, el operador podrá entregar en porcentajes la velocidad deseada de operación de cada equipo además podrá entregar la orden de marcha para de cada uno de ellos, como se mencionó anteriormente, el funcionamiento de estos será completamente independiente y no tendrá vinculo el ventilador con la bomba; este modo es de gran importancia para efectos de mantenimiento e inspección del funcionamiento de los equipos.

Figura 26: Imagen HMI, modo de funcionamiento manual.



## 10 SISTEMA DE MONITOREO Y SUPERVISIÓN.

En la interface hombre máquina se encuentran una imagen, figura 27 y 28, en donde se presenta en forma animada el funcionamiento actual del humidificador de aire, una pantalla para cada sistema, en esta se podrá observar los valores de referencia de las velocidades de la moto bomba y el moto ventilador, se observa claramente el valor referencia o set point de las variables humedad relativa y temperatura, parte inferior izquierda, además del estado de las compuertas de entrada. Se presenta un pulsador iterativo en donde al presionar nos mostrara en forma gráfica el comportamiento de las variables, figura 29.

Figura 27: Imagen HMI, estado del Humidificador 1

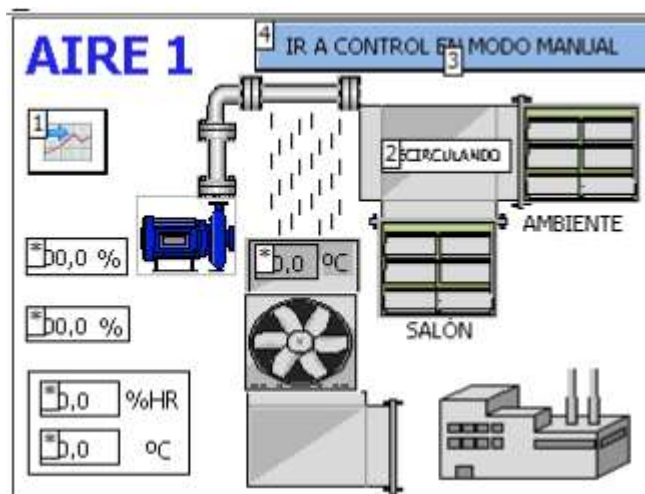


Figura 28: Imagen HMI, estado del Humidificador 2

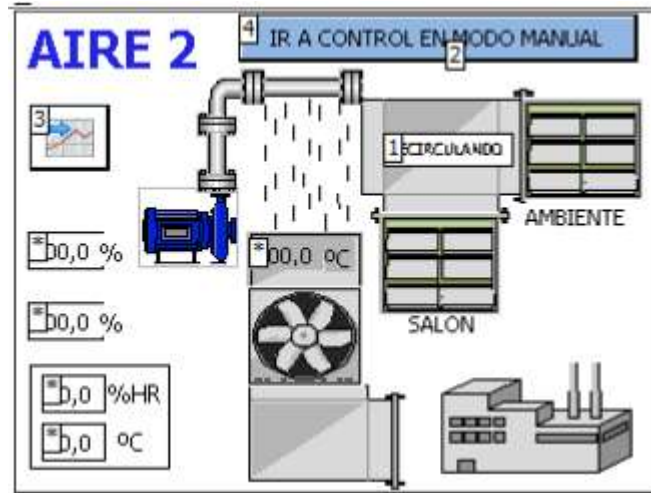
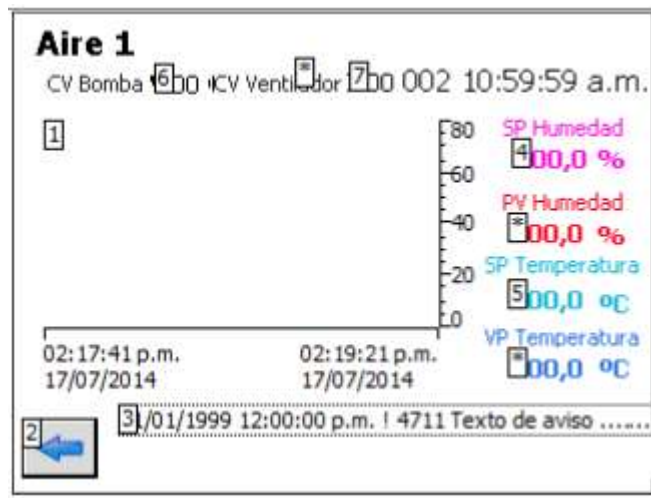


Figura 29: Imagen HMI, comportamiento grafico de las variables humedad relativa y temperatura

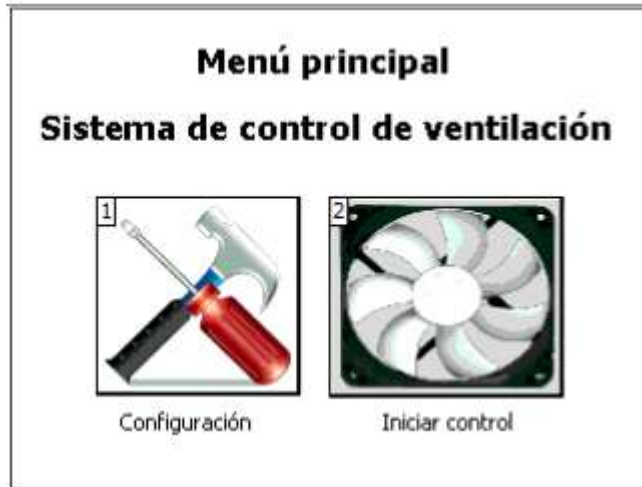


Se ubicaron dos gráficos del ventilador, uno sobre otro y por medio de la animación visualización se otorga una sensación de movimiento en las aspas del ventilador cuando esté accionado, por otra parte, la animación de la moto bomba se da por medio de las líneas verticales y el efecto de animación visualización, el cual proporciona la sensación de rocío o lluvia cuando el motor que impulsa la bomba sea encendido; las compuertas cambian de color al ser accionadas, blancas al estar abiertas y grises cuando estas se encuentran cerradas.



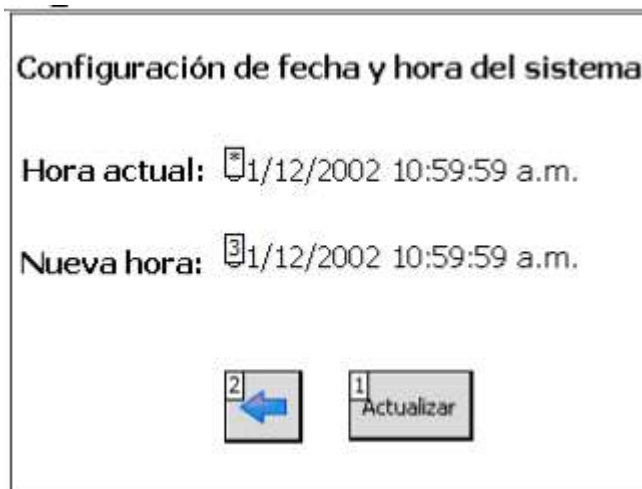
La pantalla principal del sistema en la HMI, figura 30, nos brinda la posibilidad de navegar entre los estados de los humidificadores de aire y la configuración del mismo, acción que se ejecuta al presionar sobre los pulsadores iterativos que poseen el mismo nombre.

Figura 30: Imagen HMI, pantalla principal



Se incluye en una imagen la posibilidad que el operador ajuste el horario local, este aspecto es importante y se debe tener actualizado para los efectos de registro de datos, figura 31.

Figura 31: Imagen HMI, ajuste de fecha y hora local.



## **11 IMPLEMENTACIÓN**

Para la implementación del sistema se procede a realizar los diagramas eléctricos acordes al funcionamiento pactado, capítulo 9, y se construye el tablero eléctrico acorde a la Figura 18: Diseño de exterior tablero de control y Figura 19: Diseño de interior tablero de control.

### **11.1 DIAGRAMAS ELÉCTRICOS**

En los diagramas de conexión se muestra en forma detallada como están interconectados los elementos de control y potencia del proyecto automatización y control de humidificador de aire, en la Figura 32: Diagrama de conexiones\_1, se presenta el switch Q6 el cual es desempeña la función de seccionador del tablero eléctrico, se presenta el totalizador Q0 de 125 A y la conexión al transformador de control y fuentes de voltaje DC, G1 \_G2, con sus respectivas protecciones.

En la Figura 33: Diagrama de conexiones\_2, se indica las conexiones de las electroválvulas, ventilador y lámparas auxiliares del tablero. En la Figura 34: Diagrama de conexiones\_3, se ilustra la conexión de algunas entradas y salidas del control lógico programable.

La conexión de los variadores de velocidad de los ventiladores y bombas se presentan en las Figura 35: Diagrama de conexiones\_4, Figura 36: Diagrama de conexiones\_5, Figura 37: Diagrama de conexiones\_6 y Figura 38: Diagrama de conexiones\_7; en estos diagramas se describe gráficamente la conexión de potencia y control de estos dispositivos.

La conexión de las borneras de entradas/salidas del sistema esta detallada en la secuencia de figuras 39 a 45, en estas se puede apreciar la numeración que identifica cada borne y el elemento conectado a esta.

Figura 32: Diagrama de conexiones\_1

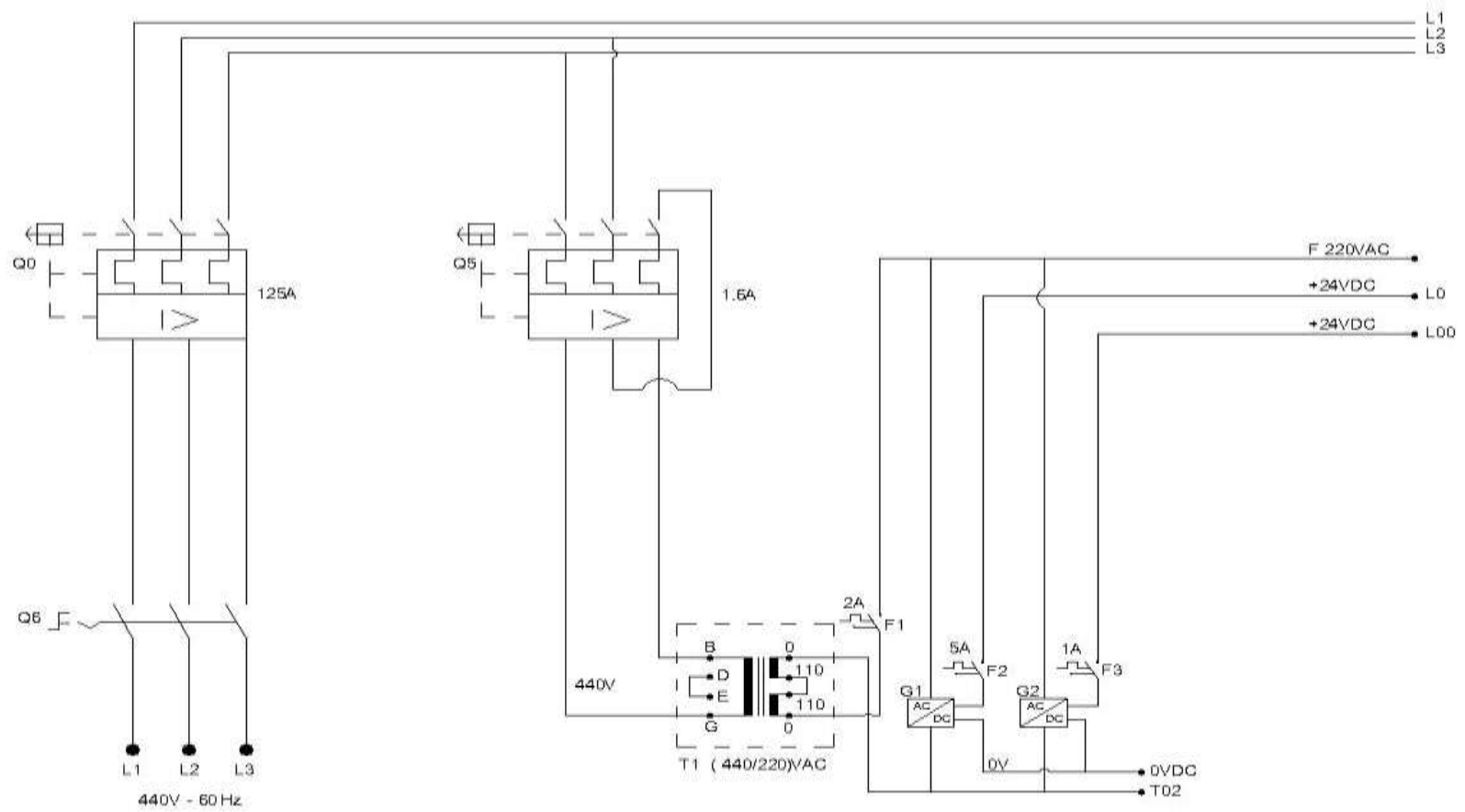


Figura 33: Diagrama de conexiones\_2

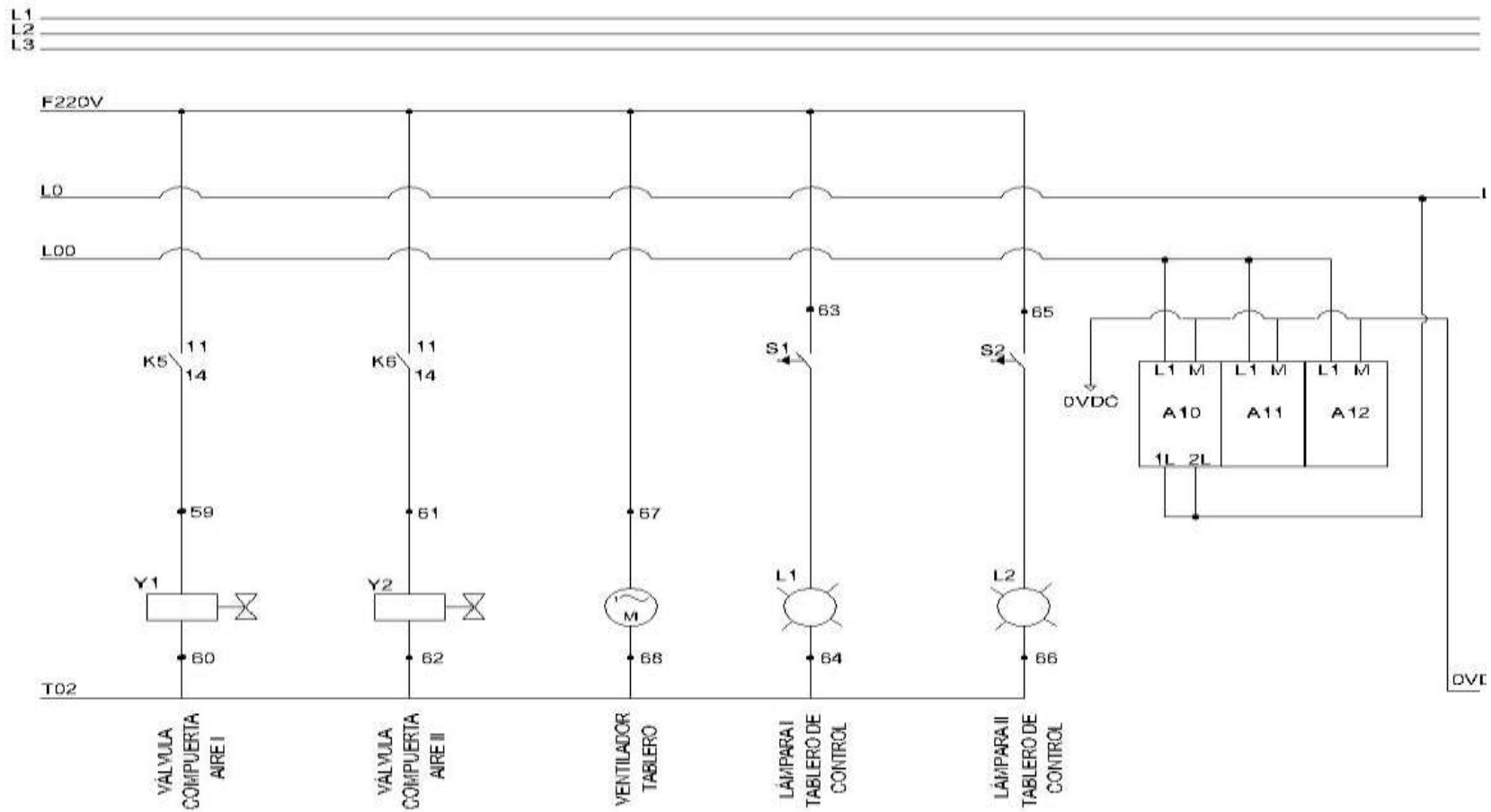


Figura 34: Diagrama de conexiones\_3

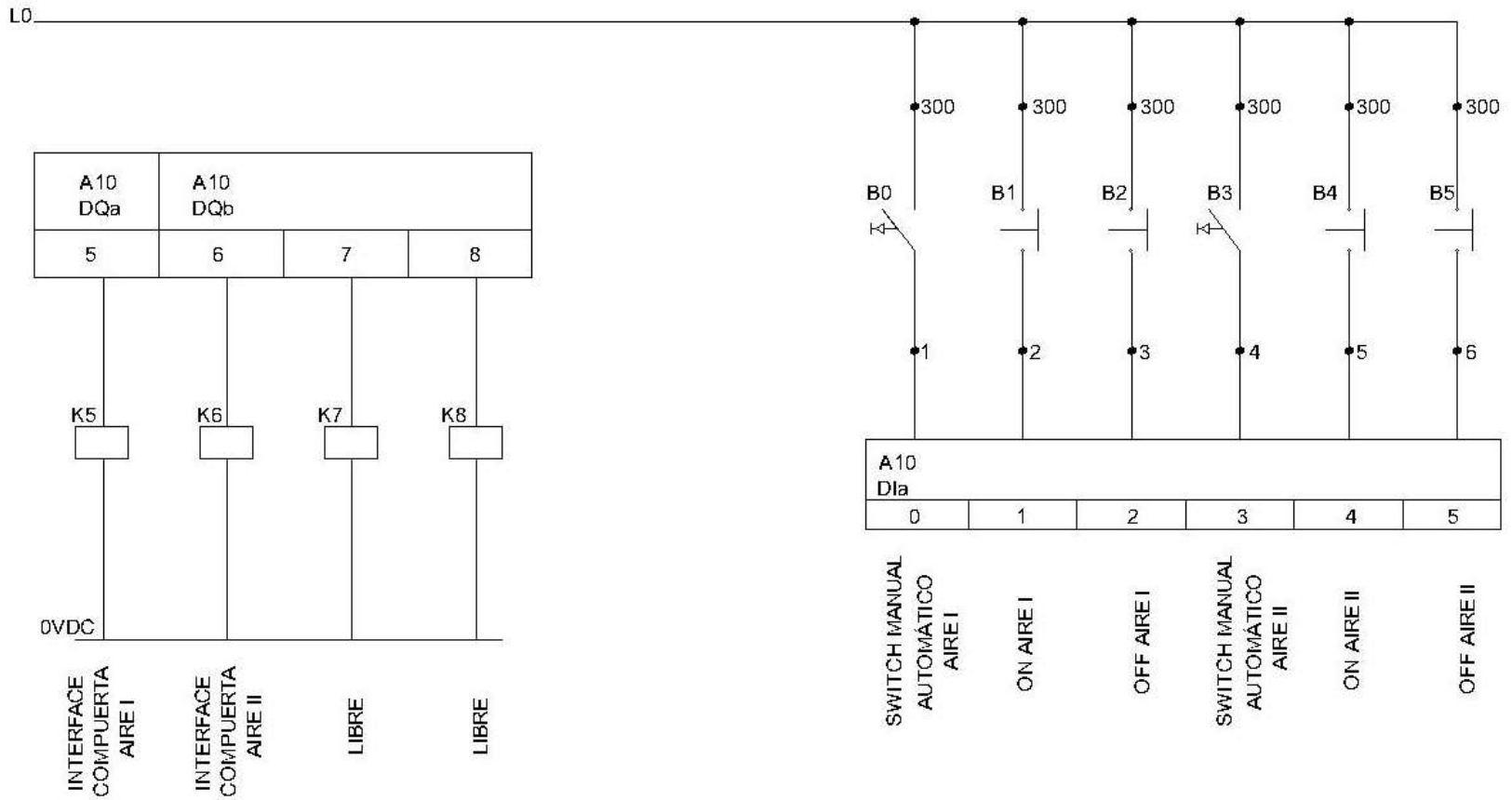


Figura 35: Diagrama de conexiones\_4

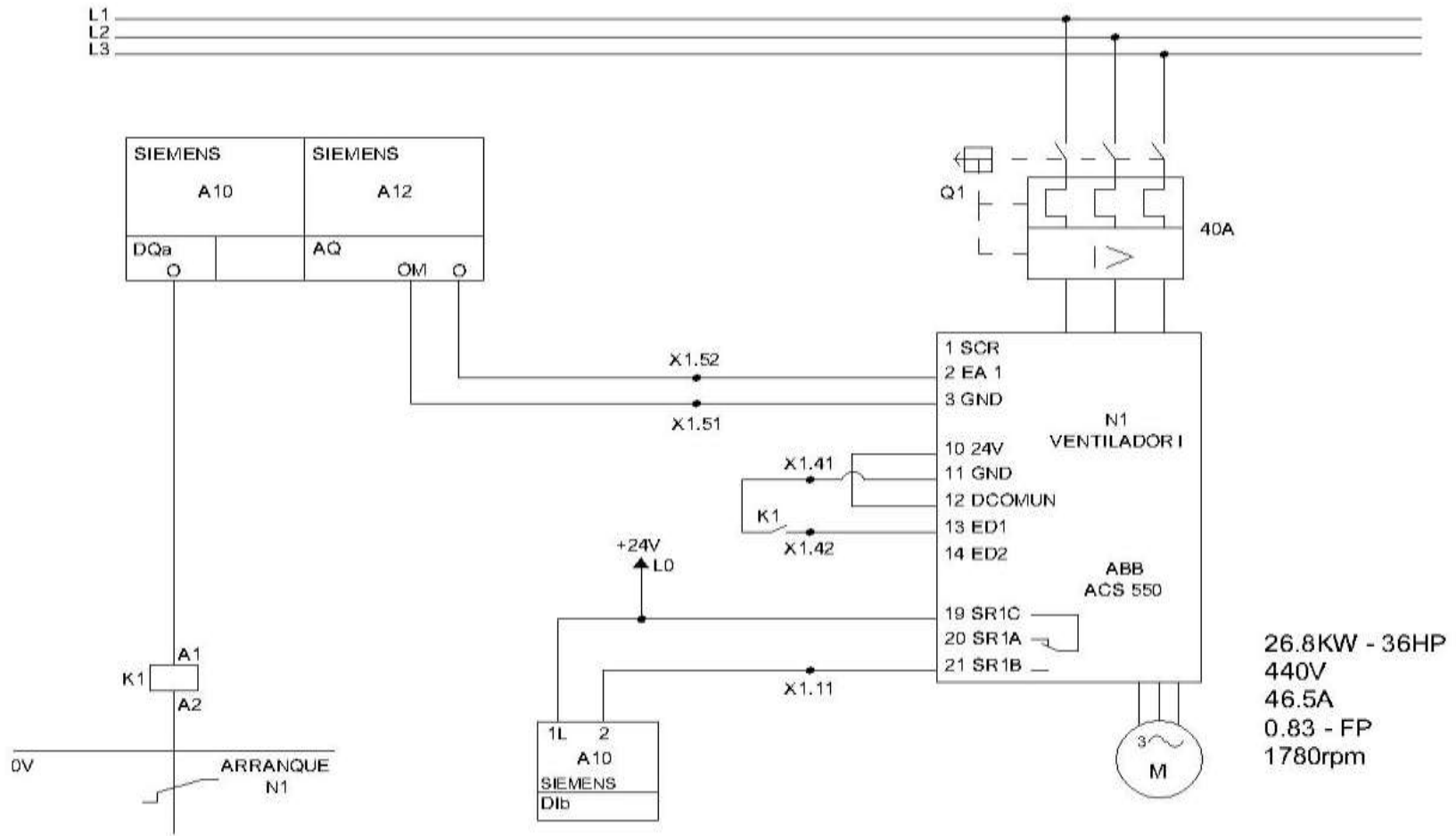


Figura 36: Diagrama de conexiones\_5

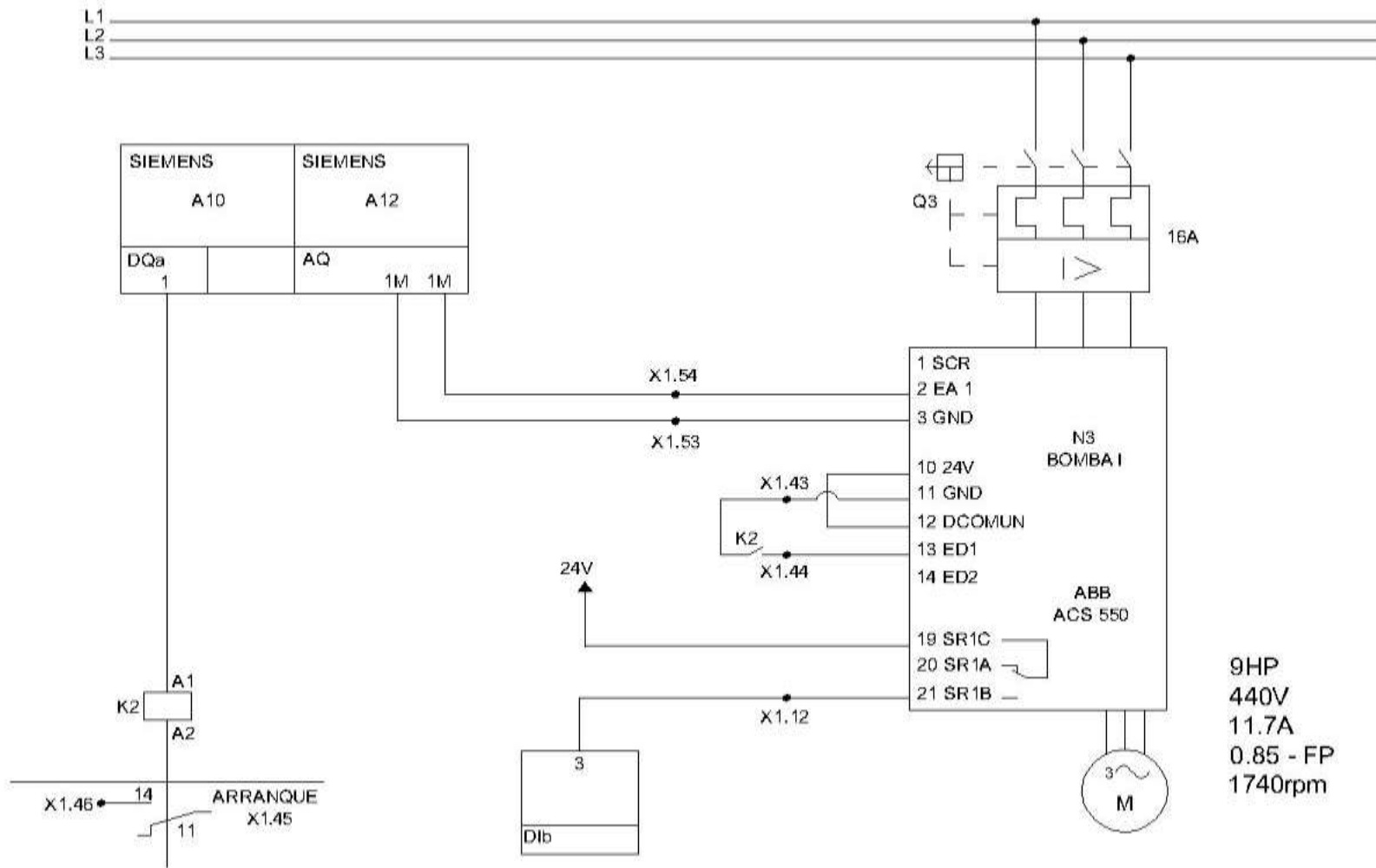


Figura 37: Diagrama de conexiones\_6

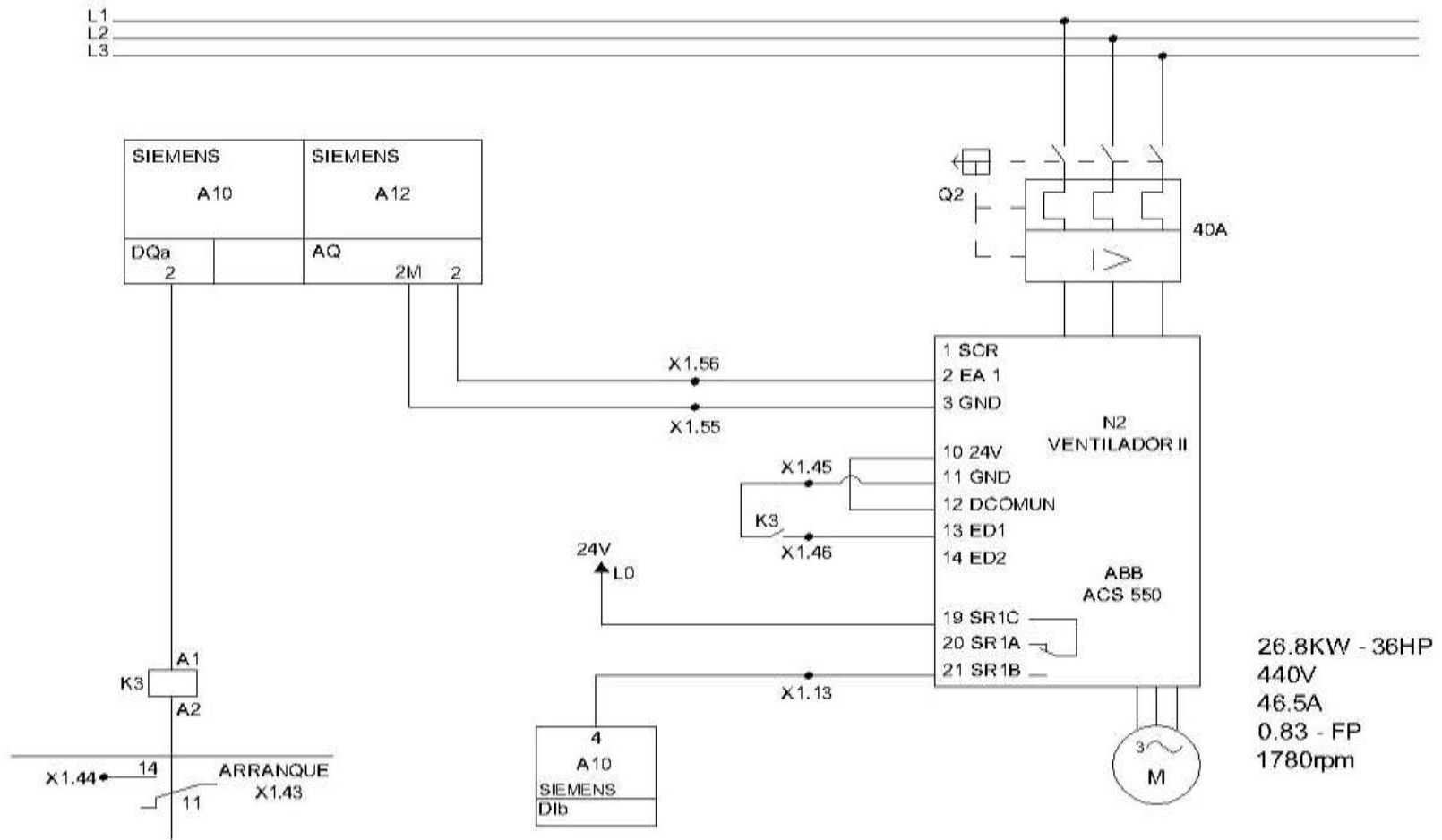




Figura 38: Diagrama de conexiones\_7

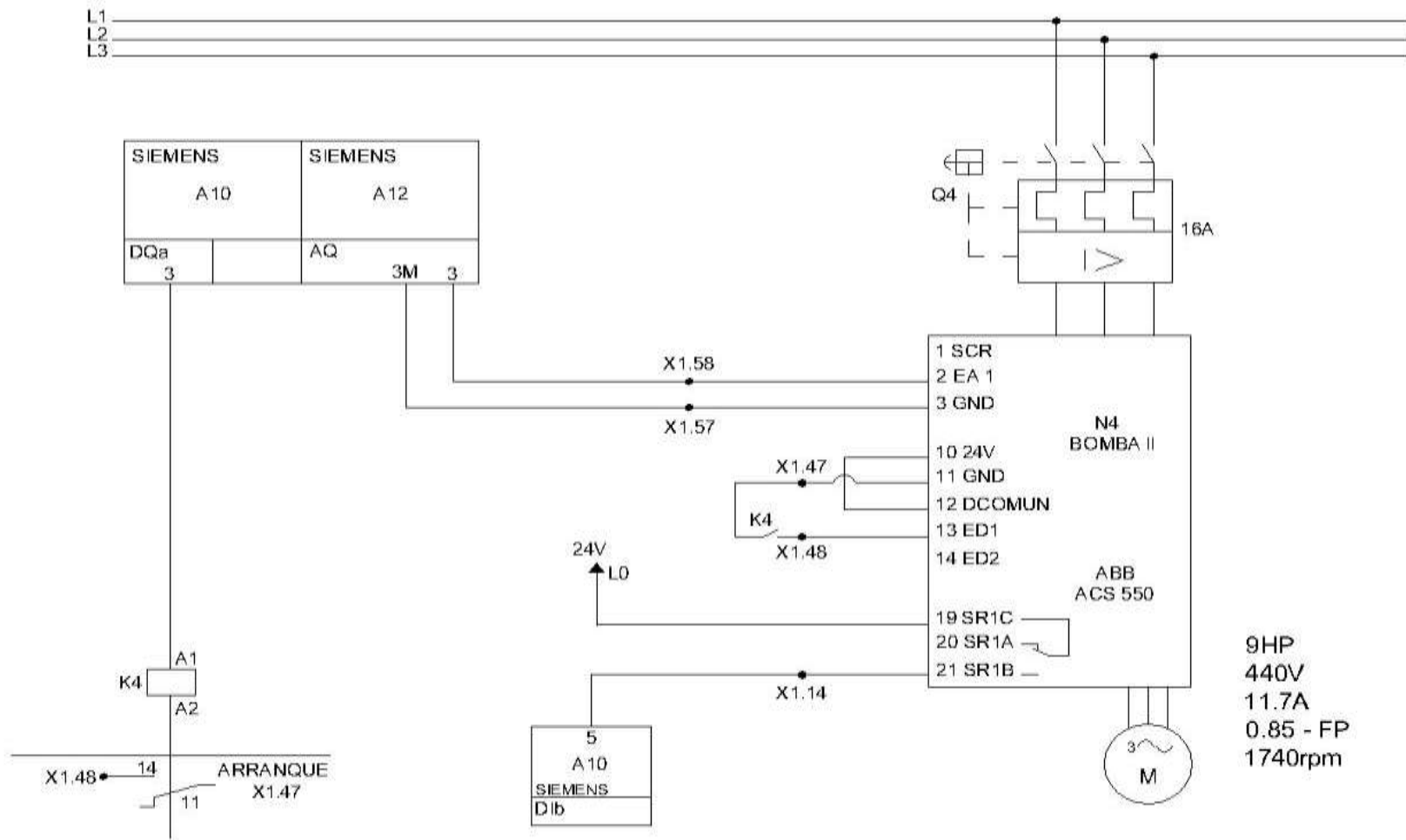


Figura 39: Diagrama de conexiones\_8

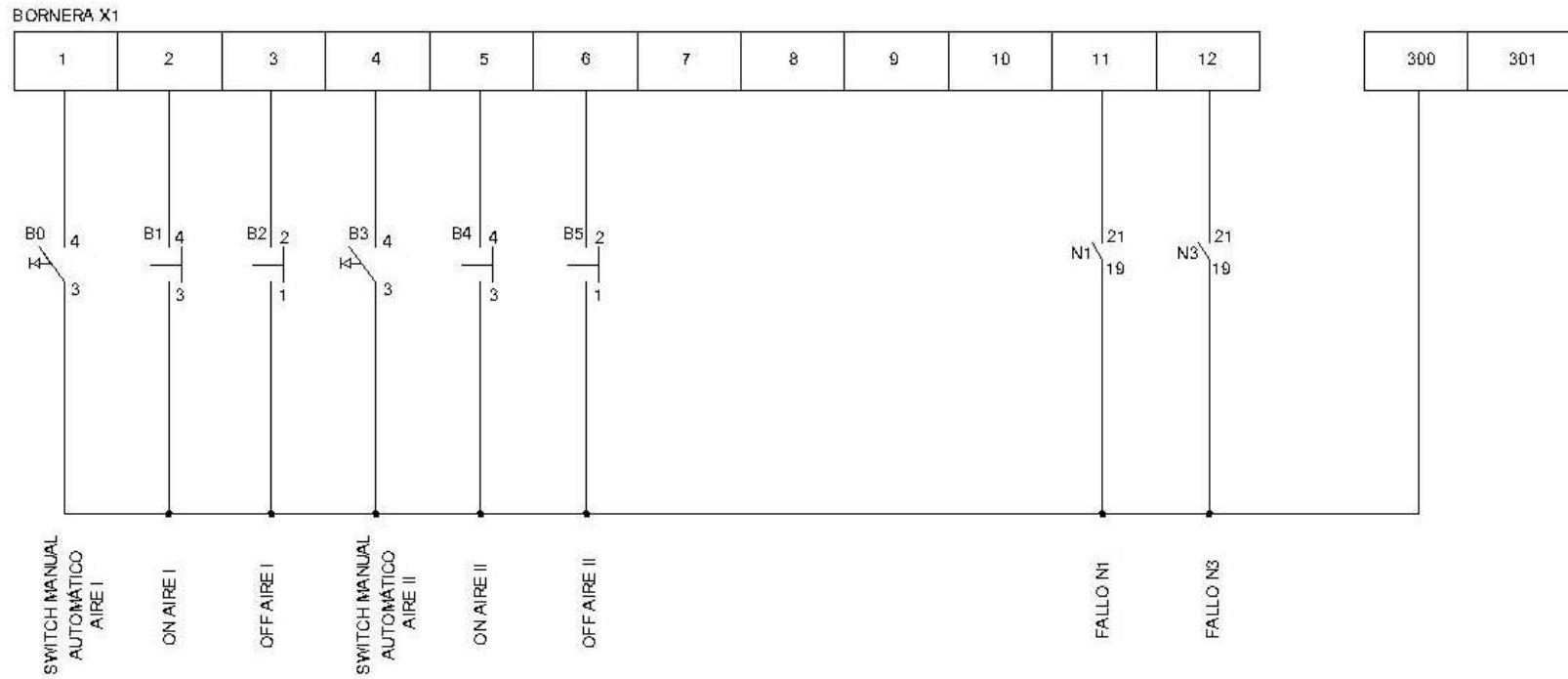


Figura 40: Diagrama de conexiones\_9

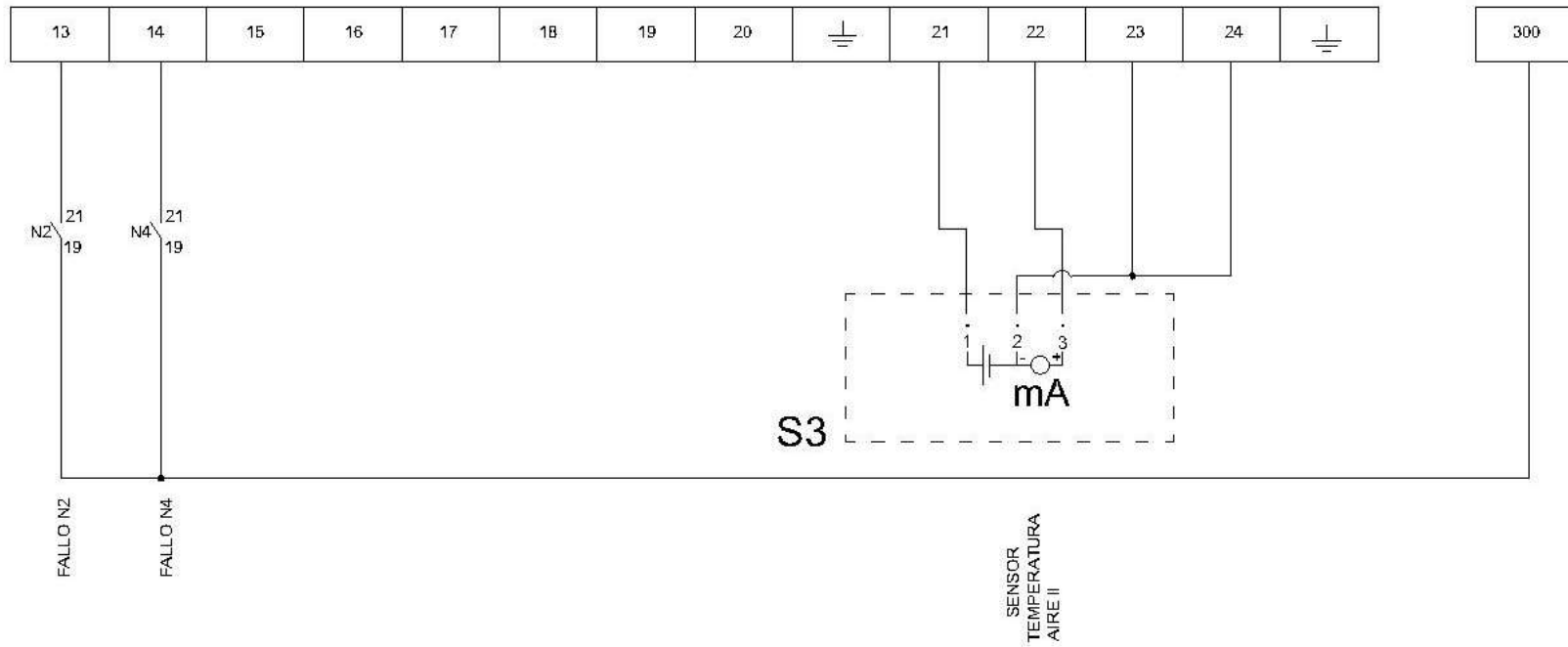


Figura 41: Diagrama de conexiones\_10

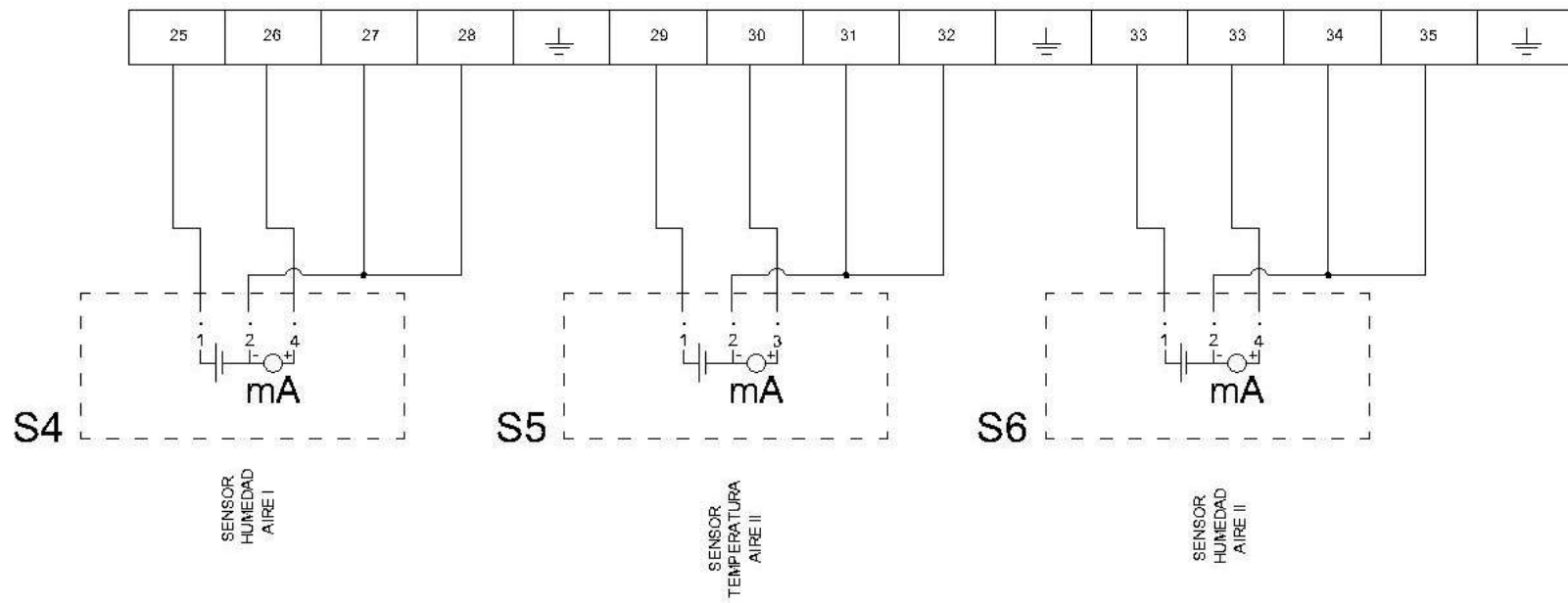


Figura 42: Diagrama de conexiones\_11

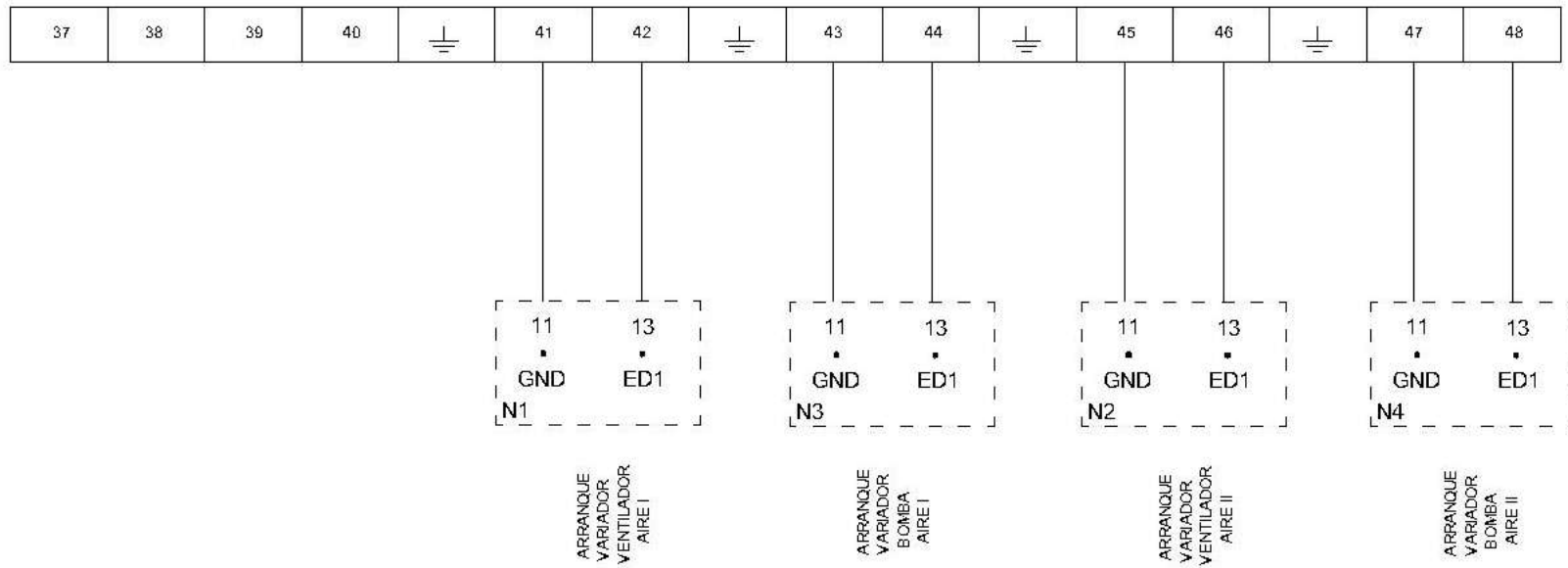


Figura 43: Diagrama de conexiones\_12

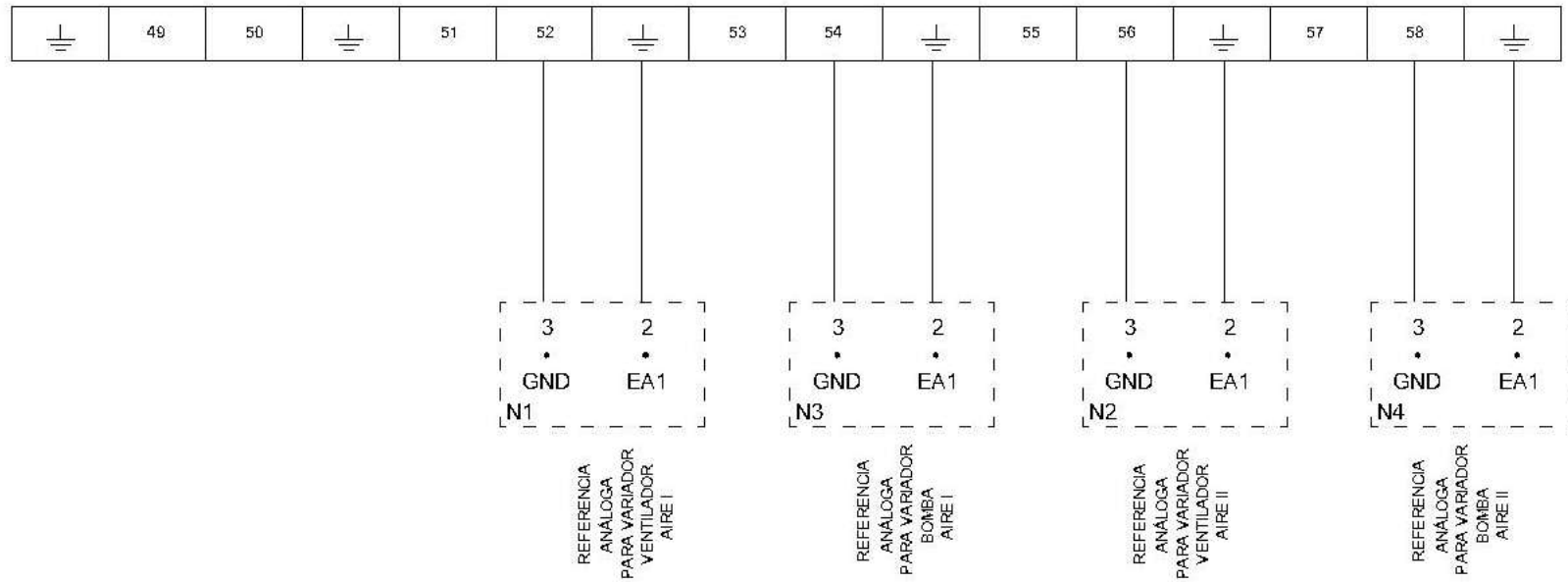


Figura 44: Diagrama de conexiones\_13

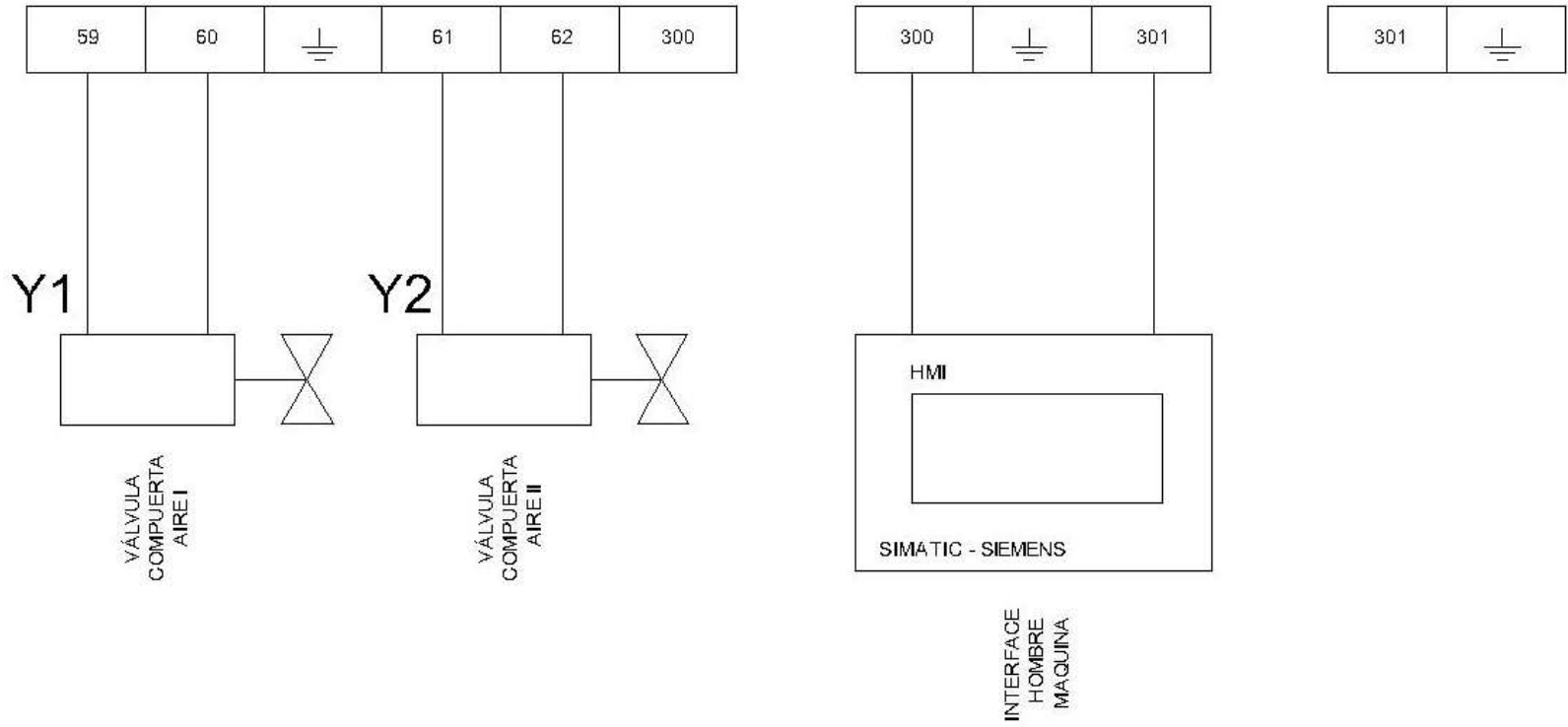
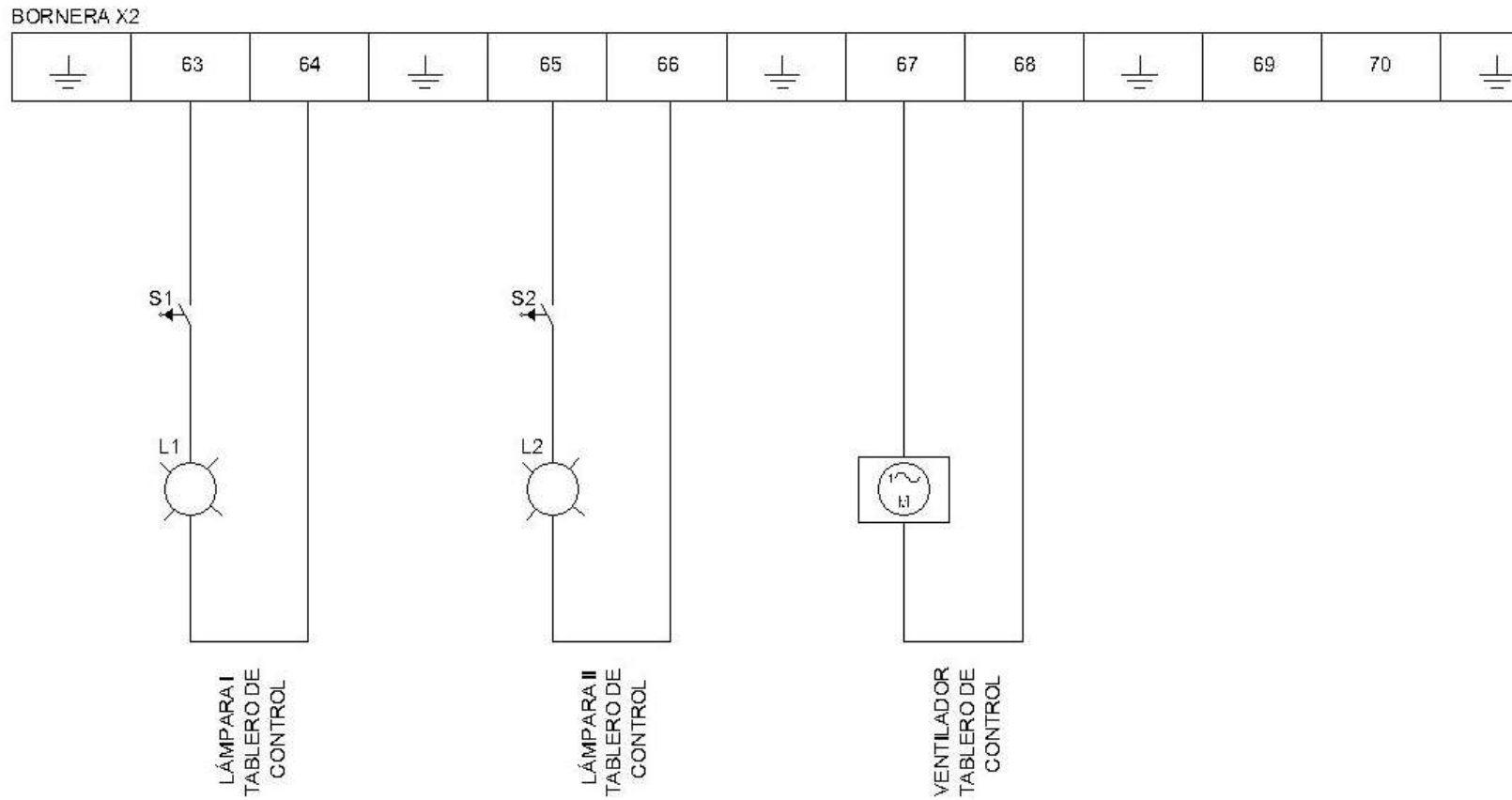


Figura 45: Diagrama de conexiones\_14





## 11.2 PRESENTACIÓN DEL TABLERO DE CONTROL

Tomando como base la descripción de funcionamiento y con los diagramas eléctricos se procede a presentar el tablero de control del sistema humidificador de aire para la planta de hilatura de la empresa Coats Cadena Andina SA, figura 46 Imagen exterior tablero de control, con automatización, Figura 47: Imagen interior tablero de control, con automatización, Figura 47: Imagen interior tablero de control, con automatización, Figura 48: Imagen interior tablero de control, con automatización y Figura 49: Imagen interior tablero de control, con automatización\_3

Figura 46: Imagen exterior tablero de control, con automatización



Figura 47: Imagen interior tablero de control, con automatización\_1



Figura 48: Imagen interior tablero de control, con automatización\_2



Figura 49: Imagen interior tablero de control, con automatización\_3



La Figura 47: Imagen interior tablero de control, con automatización\_1, hace referencia al interior del tablero de control después de la automatización, en este se observa que está instalado el analizador de redes Fluke 1735 con el objeto de registrar la energía demandada por el sistema.

## **12 ANÁLISIS DEL SISTEMA ANTES Y DESPUÉS DE LA AUTOMATIZACIÓN**

En este capítulo analizaremos los datos obtenidos antes y después de la automatización del sistema de humidificación de aire, es claro que para poder determinar en correcto control se hace necesario medir las condiciones de las variables y realizar su respectiva comparación; estos han sido tomados con los instrumentos extech instrument y fluke 1735 respectivamente; los software utilizados son propios de los equipos mencionados, el TRLog para humedad y temperatura y el PowerLog para registro de energía. Se procede a presentar las gráficas del comportamiento de las variables humedad relativa y temperatura en una fecha determinada y el comportamiento de la energía eléctrica correspondiente a este mismo periodo.

### **12.1 COMPORTAMIENTO DEL SISTEMA ANTES DEL PROCESO DE AUTOMATIZACIÓN**

La Figura 50: Gráfica comportamiento de humedad relativa y temperatura antes de automatización., indica las mediciones que corresponden al día 26 de Marzo de 2014 a las 10:36 AM hasta el día 03 de Abril del 2014 a las 07:28AM. La señal de temperatura está en color negro y la de humedad en color azul, mostrando claramente una dispersión de las señales y una carencia de control para estas, los intervalos enmarcados por los cursores rojo y verde representa el fin de semana en donde la planta cesa sus actividades desde el sábado a las 22:00 horas hasta el día domingo a las 22:00 horas las figuras 51 y 52 nos brindan una idea más clara de lo que ocurría con el comportamiento de las variables en cuestión, estas son Figura 51: Histograma variable temperatura, marzo 26 a abril 3 del 2014 y Figura 52: Histograma variable Humedad, marzo 26 a abril 3 del 2014. En estas figuras se observa como la desviación estándar es de 2.3 para la variable temperatura y 5.6 para la variable humedad.

En la Figura 53: Potencia activa, marzo 26 a abril 2, se muestra la potencia demandada por el equipo entre las fechas marzo 26 y abril 2 del 2014, en esta imagen se aprecia la demanda de potencia del equipo mientras están activos los dos humidificadores, el valor medio oscila alrededor de 45KW, los segmentos en donde la potencia es cero hacen referencia al equipo detenido y los segmentos que se encuentran alrededor de 22Kw nos indican que uno de los dos equipos ha sido parado. Esta grafica es de vital importancia porque nos demuestra la falta de control y los continuos paros debido a la incorrecta operación del equipo, además nos entrega el valor promedio en potencia demandada cuando los dos humidificadores de aire se encuentran operando. Se debe destacar que el intervalo en donde la potencia es cero que se

encuentra entre marzo 29 a las 22:00 hasta marzo 31 a las 8:53 indica un fin de semana, en donde la planta entera es detenida, lo que sí es claro es que el equipo debió ser prendido el día domingo 30 de marzo a las 10 de la noche.

Figura 50: Gráfica comportamiento de humedad relativa y temperatura antes de automatización.

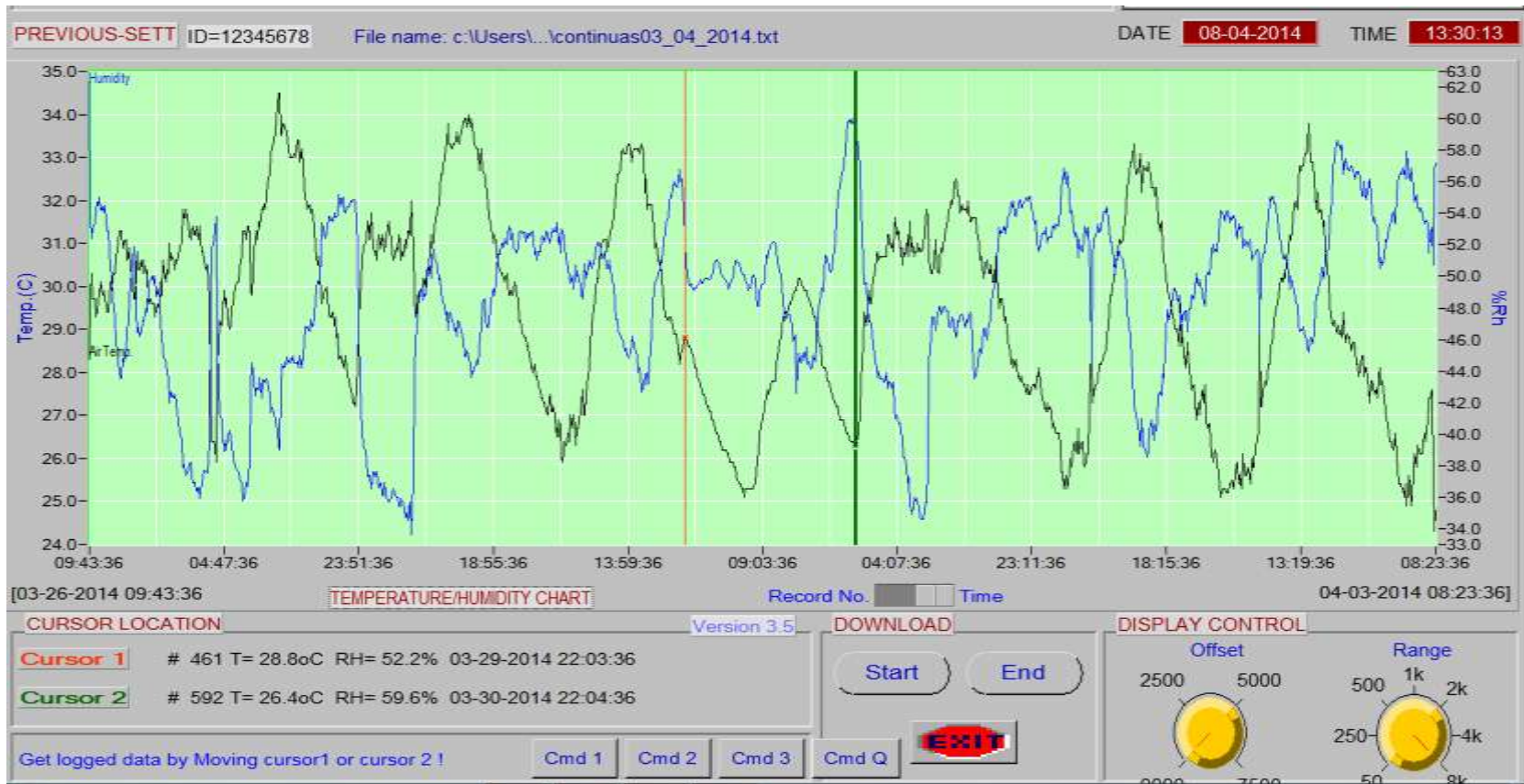


Figura 51: Histograma variable temperatura, marzo 26 a abril 3 del 2014

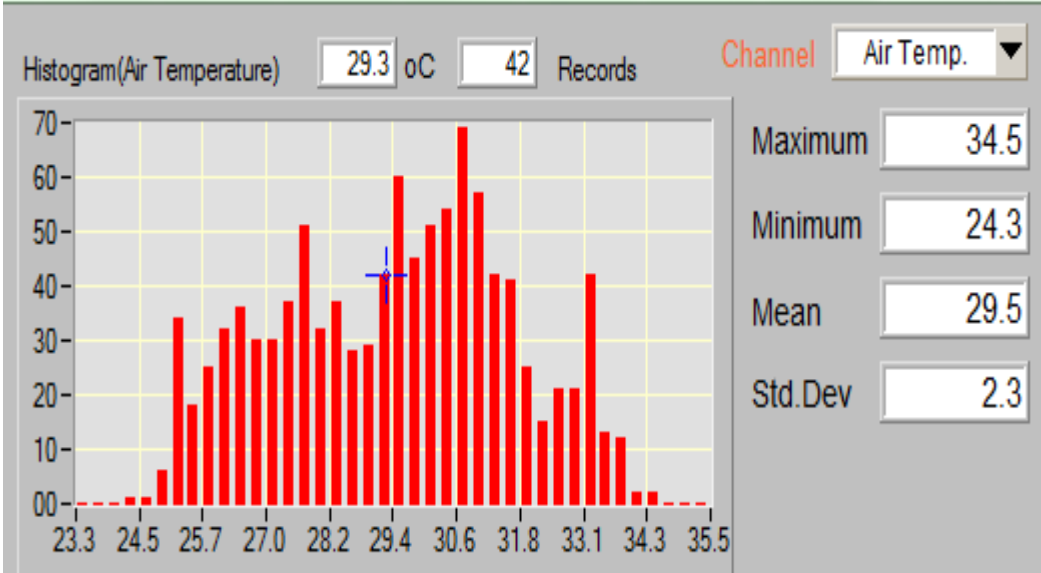


Figura 52: Histograma variable Humedad, marzo 26 a abril 3 del 2014

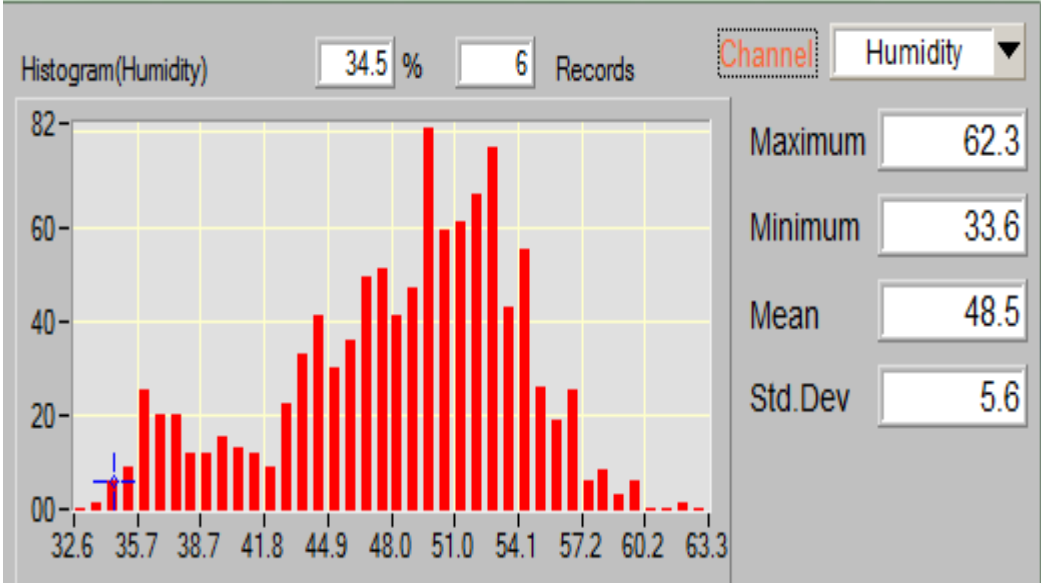
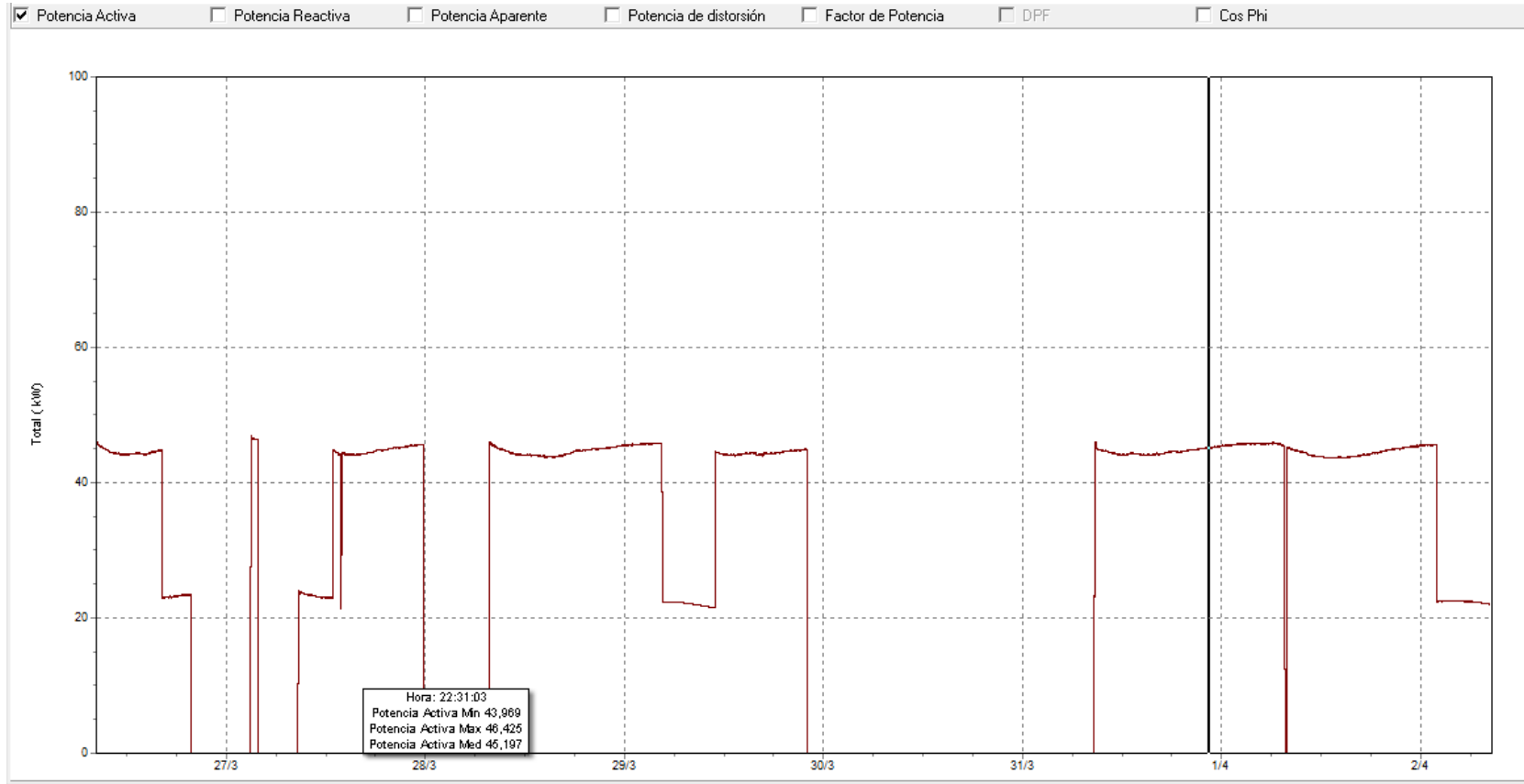


Figura 53: Potencia activa, marzo 26 a abril 2





## **12.2 COMPORTAMIENTO DEL SISTEMA DESPUÉS DE LA AUTOMATIZACIÓN.**

En la Figura 54: Gráfica comportamiento de humedad relativa y temperatura después de automatización., se puede observar el comportamiento de la variable humedad relativa y temperatura correspondiente a las fechas junio 25 a las 11:02 hasta junio 29 a las 05:58, en estas se observa como ha mejorado notablemente el comportamiento de las variables en especial la humedad relativa, representada en color azul, que es la variable sobre la cual realizamos el principal control, se puede observar también en esta gráfica que el comportamiento de la humedad esta ceñido al control pactado sin depender tanto de la temperatura como se ve en la Figura 50: Gráfica comportamiento de humedad relativa y temperatura antes de automatización., en donde el comportamiento de la temperatura es prácticamente en sentido contrario con respecto a la humedad, es decir, si la temperatura sube, la humedad baja y si la temperatura baja, la humedad sube, se debe tener presente que el sistema está configurado con las referencias de 52% de humedad relativa y 24°C de temperatura, la referencia de temperatura solo controla las compuertas que permite el ingreso del aire del interior y el exterior del salón de producción.

La Figura 55: Histograma variable temperatura, junio 25 a junio 29 del 2014 y la Figura 56: Histograma variable humedad relativa, junio 25 a junio 29 del 2014 hacen referencia a los histogramas de humedad relativa y temperatura para este periodo, en donde se aprecia una disminución en la desviación estándar para ambas variables pasando de 2.3 a 1.4 en la variable temperatura y de 5.6 a 1.9 en la variable humedad, lo cual es indicio claro que el comportamiento de las variables en cuestión ha mejorado su comportamiento.

En la Figura 57: Potencia activa, junio 25 a junio 29 del 2014, está presente el comportamiento de la potencia demandada por el sistema, en esta figura se puede observar como la potencia varía de acuerdo a la necesidad y más bien de acuerdo a las condiciones del salón de producción, su punto máximo de demanda está alrededor de 32KW, debido a que para llegar a la condición máxima de 45KW el salón debería estar a 35°C para brindar el 100% de referencia de velocidad a los ventiladores y además de ello las moto bombas deberían de estar girando al 100% de velocidad, este punto máximo de demanda está centrado regularmente entre el medio día y el final de la tarde, pero al empezar la noche, las cifras empiezan a bajar hasta llegar a un punto mínimo que generalmente esta dado en la madrugada, en esta medición se registran valores de 16KW a las 3 de la mañana, de este modo se presenta un ahorro significativo de energía eléctrica, la cual es traducida en dinero.

Se puede afirmar con certeza que toda potencia demandada que este por debajo de 45KW está proporcionando ahorro y lo más importante a resaltar es que este ahorro está permitiendo mejorar las condiciones de la variable humedad relativa y temperatura, sin contar con el agua potable que se está dejando de consumir y que en este proyecto no teníamos forma alguna de cuantificar.

Figura 54: Gráfica comportamiento de humedad relativa y temperatura después de automatización.

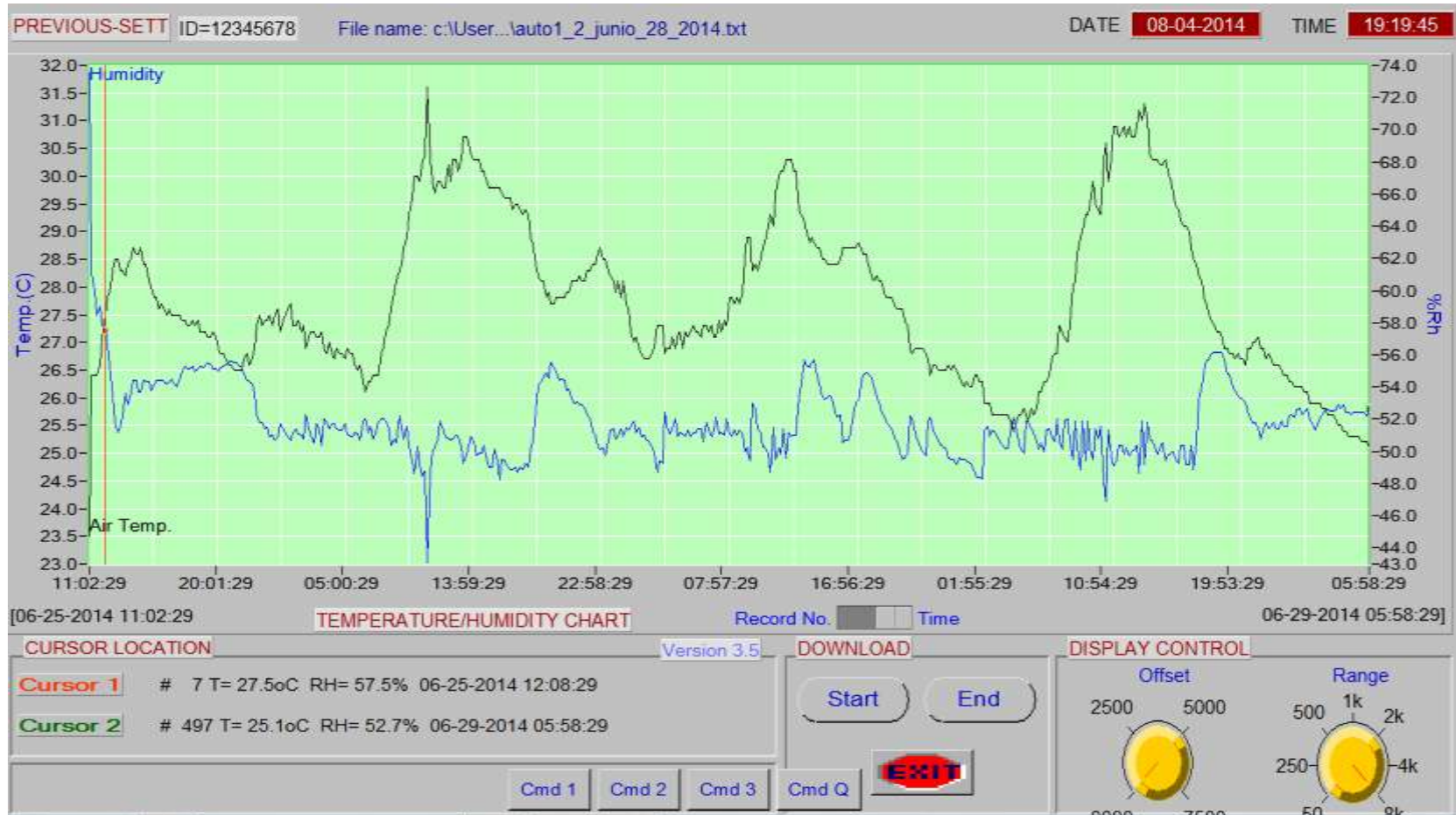


Figura 55: Histograma variable temperatura, junio 25 a junio 29 del 2014

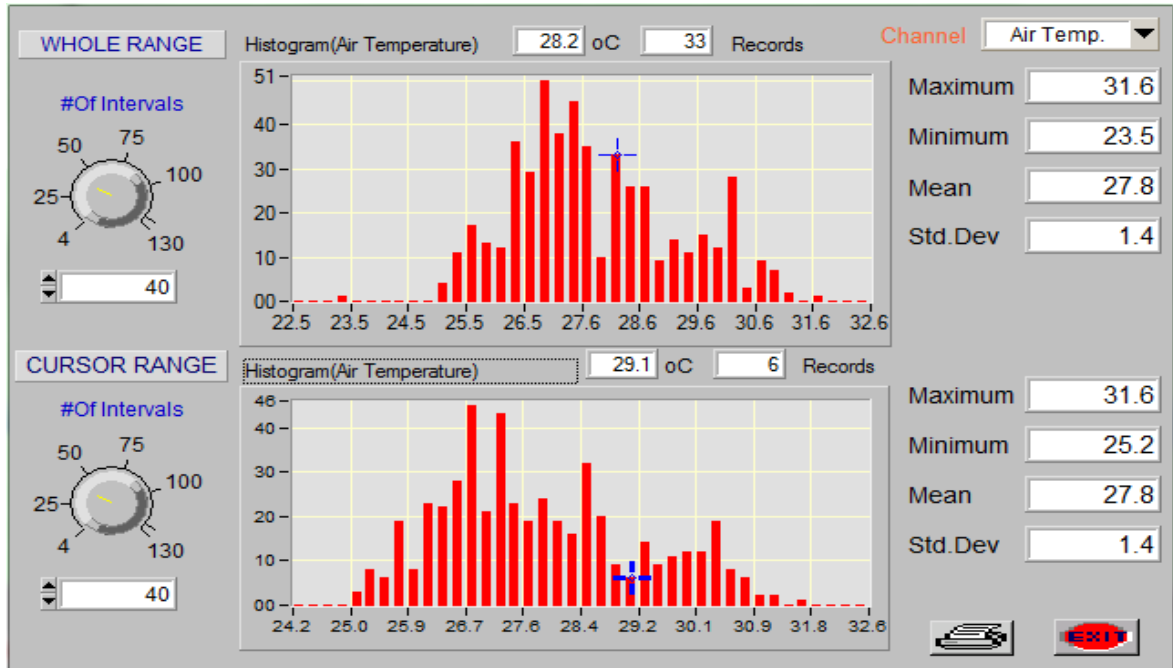


Figura 56: Histograma variable humedad relativa, junio 25 a junio 29 del 2014

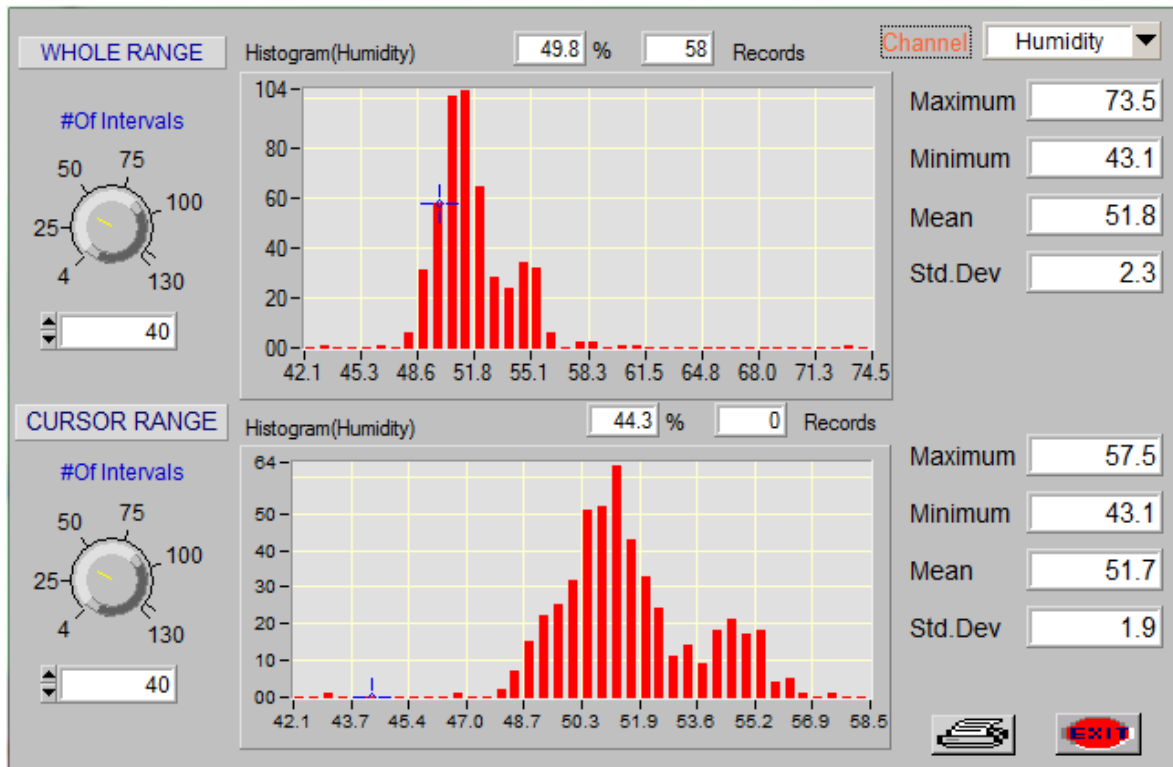
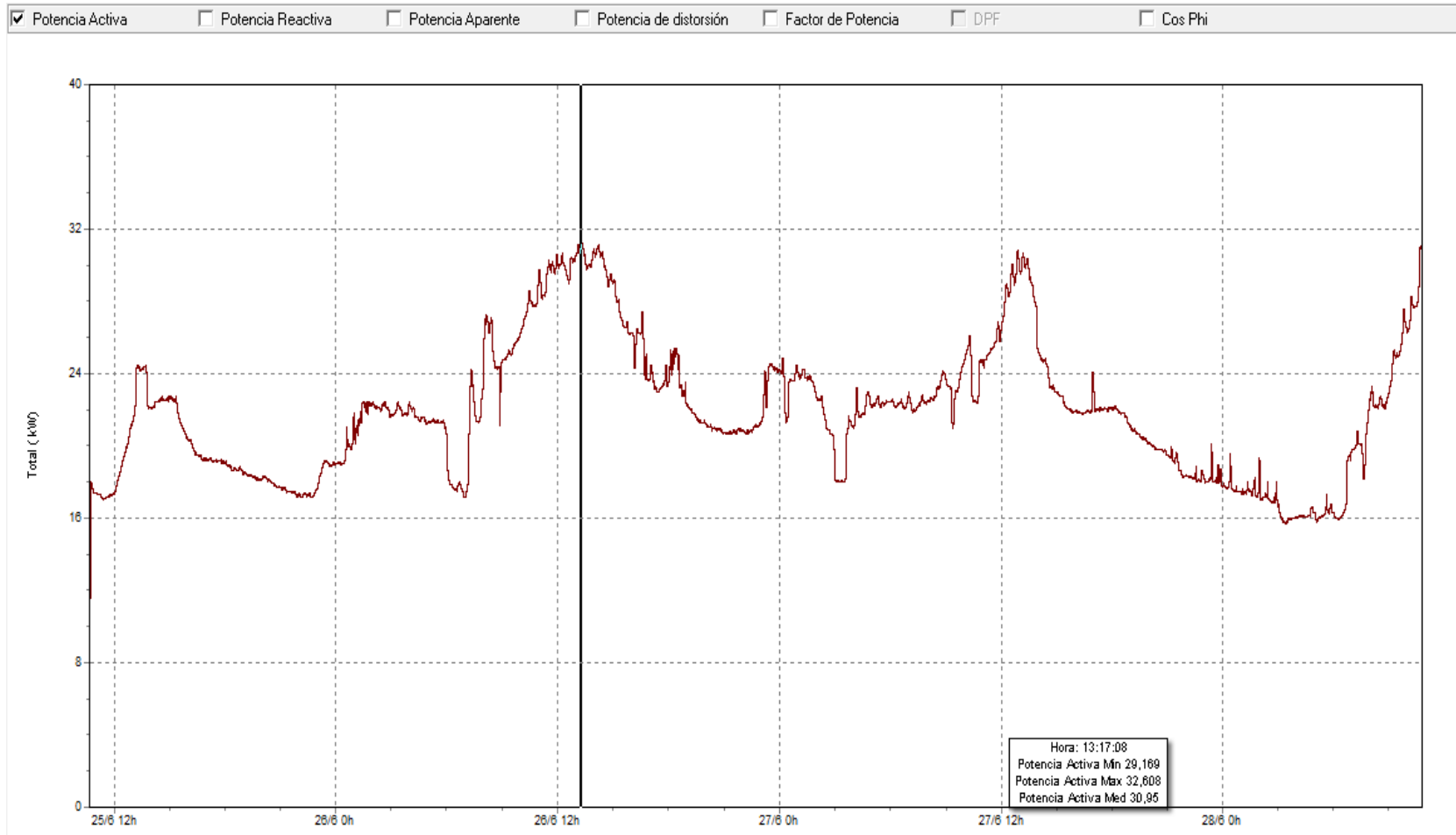


Figura 57: Potencia activa, junio 25 a junio 29 del 2014



### 12.3 PRUEBA ESPECIAL, 24 HORAS.

Para confirmar los resultados descritos anteriormente se procedió a realizar una prueba del sistema por 24h, en esta se montó el equipo ya automatizado pero con referencias manuales del 100% para las dos moto bombas y los dos ventiladores, de este modo se pretende tener el acumulado del consumo de energía eléctrica, simulando el funcionamiento antes de realizar la automatización para posteriormente ser comparado con una prueba también de 24h con el equipo regulado, además de tener las gráficas respectivas del comportamiento de las variables humedad relativa y temperatura. La prueba inicial fue a velocidad máxima y se realizó de julio 31 a agosto 1 del 2014.

La Figura 58: Prueba especial, humedad y temperatura a velocidad máxima por 24 horas, indica el comportamiento de la humedad relativa y la temperatura para esta prueba, en donde es claro la gran variación que presenta el equipo, llegando a un límite superior situado a las 02:12 de la madrugada, en este punto se debió detener la prueba ya que la humedad relativa llegaba a el valor de 60.8% y esto dificultaba la operación de la maquinaria, en el momento de apagar los humidificadores se observa como cae el valor de la humedad relativa hasta llegar al valor de 39.5% a las 07:00 AM, dejando claro lo vulnerable que puede llegar a ser el equipo ante una manipulación incorrecta, el sistema se encendió nuevamente a las 07:40 de la mañana, el cursor de color verde en esta gráfico brinda claridad sobre el comportamiento en este punto, en la parte inferior izquierda entrega los valores en las variables y la hora.

Para efectos de un correcto análisis en esta gráfica se trabajara desde el inicio hasta el cursor verde, parte inferior del histograma en la Figura 58: Prueba especial, humedad y temperatura a velocidad máxima por 24 horas y Figura 59: Histograma temperatura, prueba especial, velocidad máxima por 24 h, la parte superior de estas figuras hacen referencia a la totalidad de puntos de medición, es decir, 24horas. Los valores en la desviación estándar para la temperatura fueron 2.4 y 4.9 para la humedad en el rango del cursor.

La Figura 61: Potencia activa, prueba especial, velocidad máxima por 24 h, representa la potencia demandada por el sistema, en esta gráfica es claro ver que la potencia activa es prácticamente constante y su valor es de 45.75KW , además se puede observar la orden de paro que se le dio al equipo y de la cual se hace referencia en el párrafo anterior; para este análisis se incluirá la energía demandada en este intervalo de tiempo y la cual está representada en laFigura 62: Energía activa, prueba especial, velocidad máxima por 24 h, se debe destacar que la prueba inicio a las 10:26 y se ubica el cursor 16 horas después, es decir, a las 02:26 en donde se observa una energía activa acumulada de 731.643 KWH para un promedio ya conocido de 45.72KW por hora, representado por el cursor color rojo.

Figura 58: Prueba especial, humedad y temperatura a velocidad máxima por 24 horas

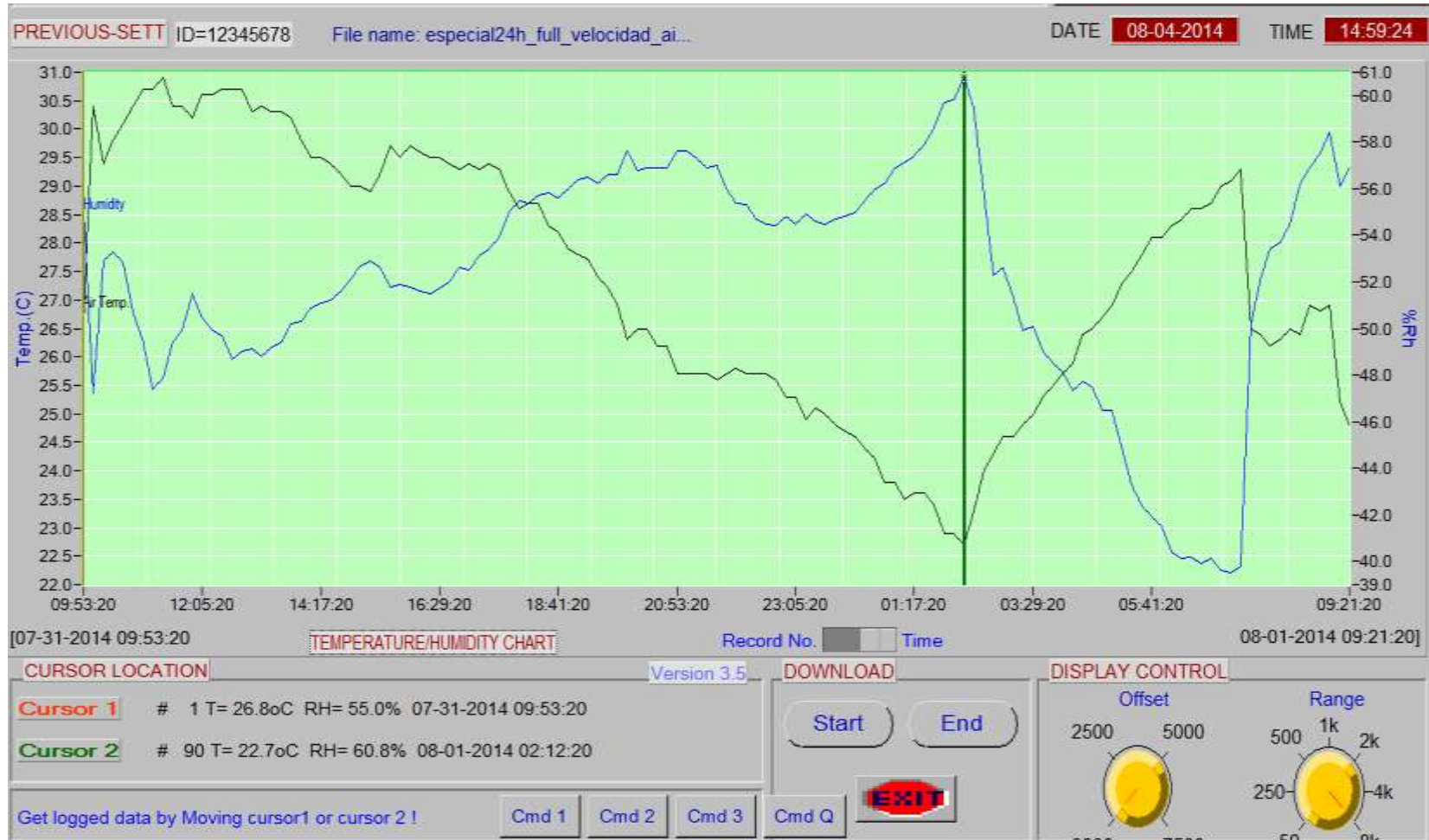


Figura 59: Histograma temperatura, prueba especial, velocidad máxima por 24 h

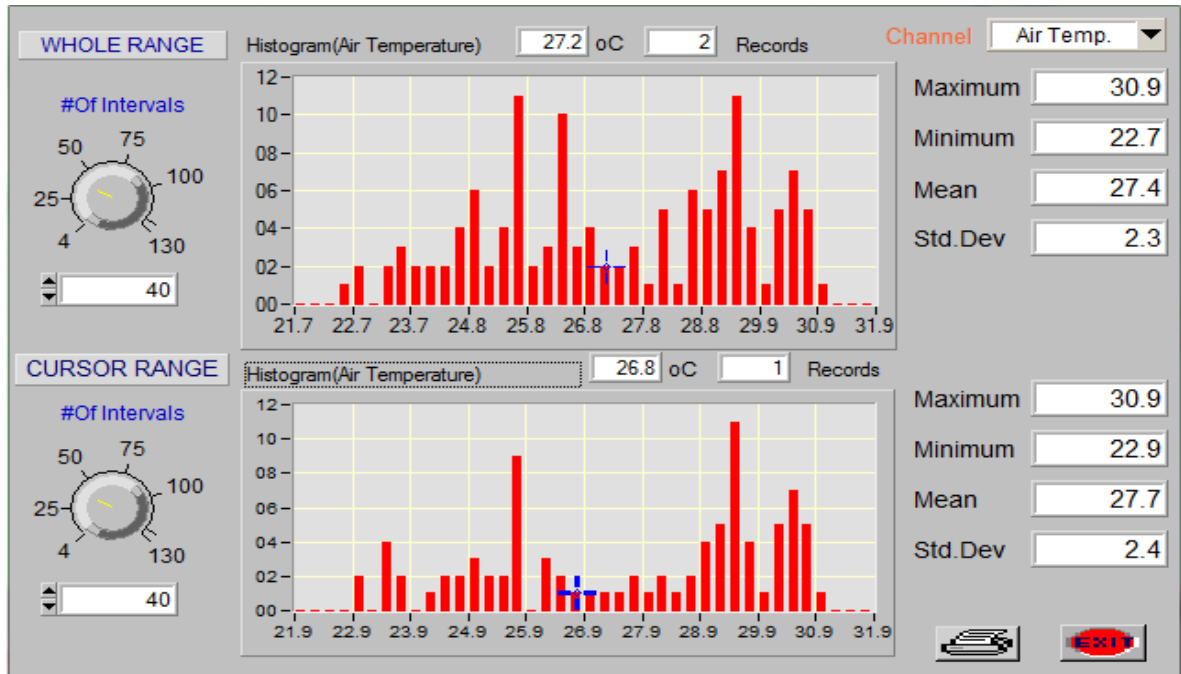


Figura 60: Histograma temperatura, prueba especial, velocidad máxima por 24 h

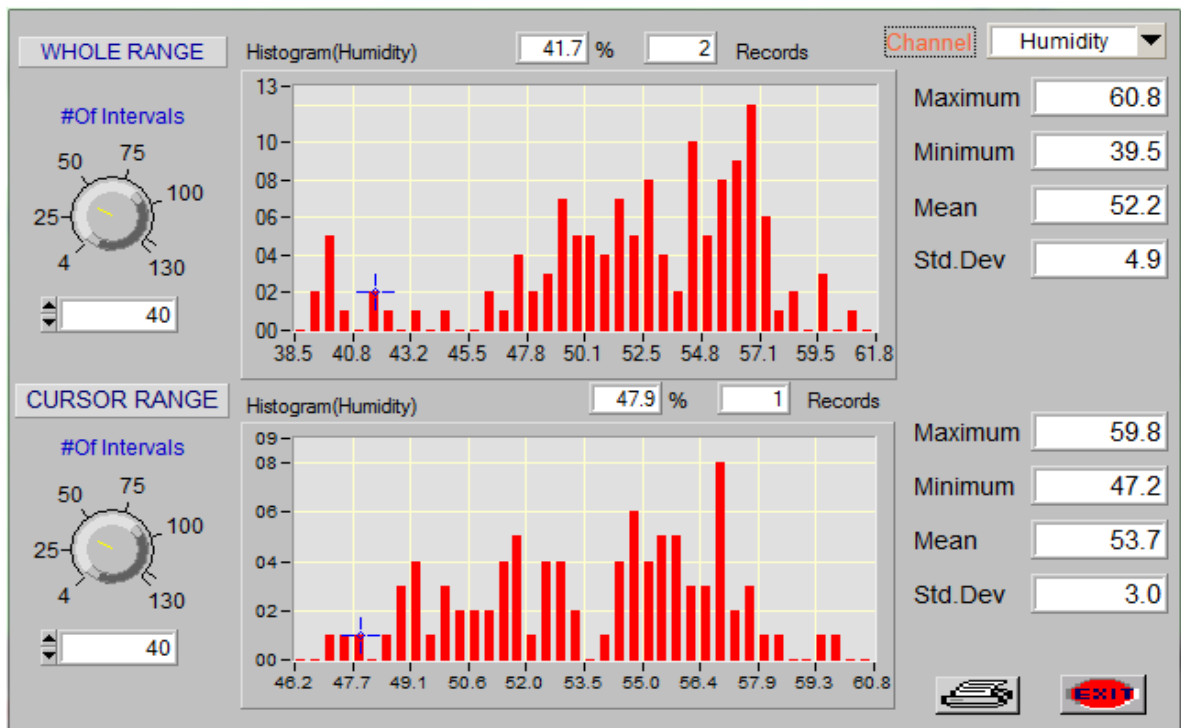


Figura 61: Potencia activa, prueba especial, velocidad máxima por 24 h

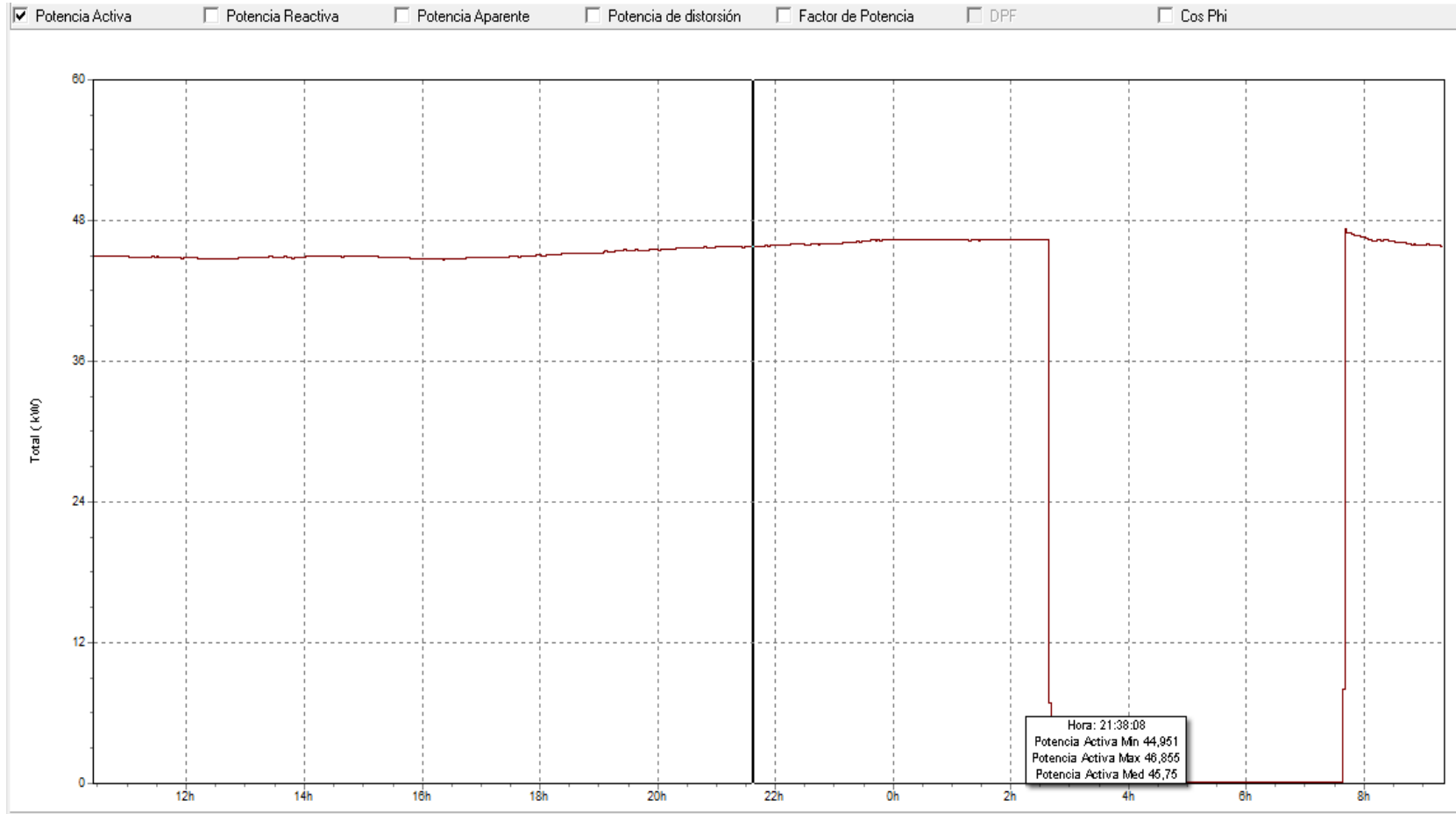
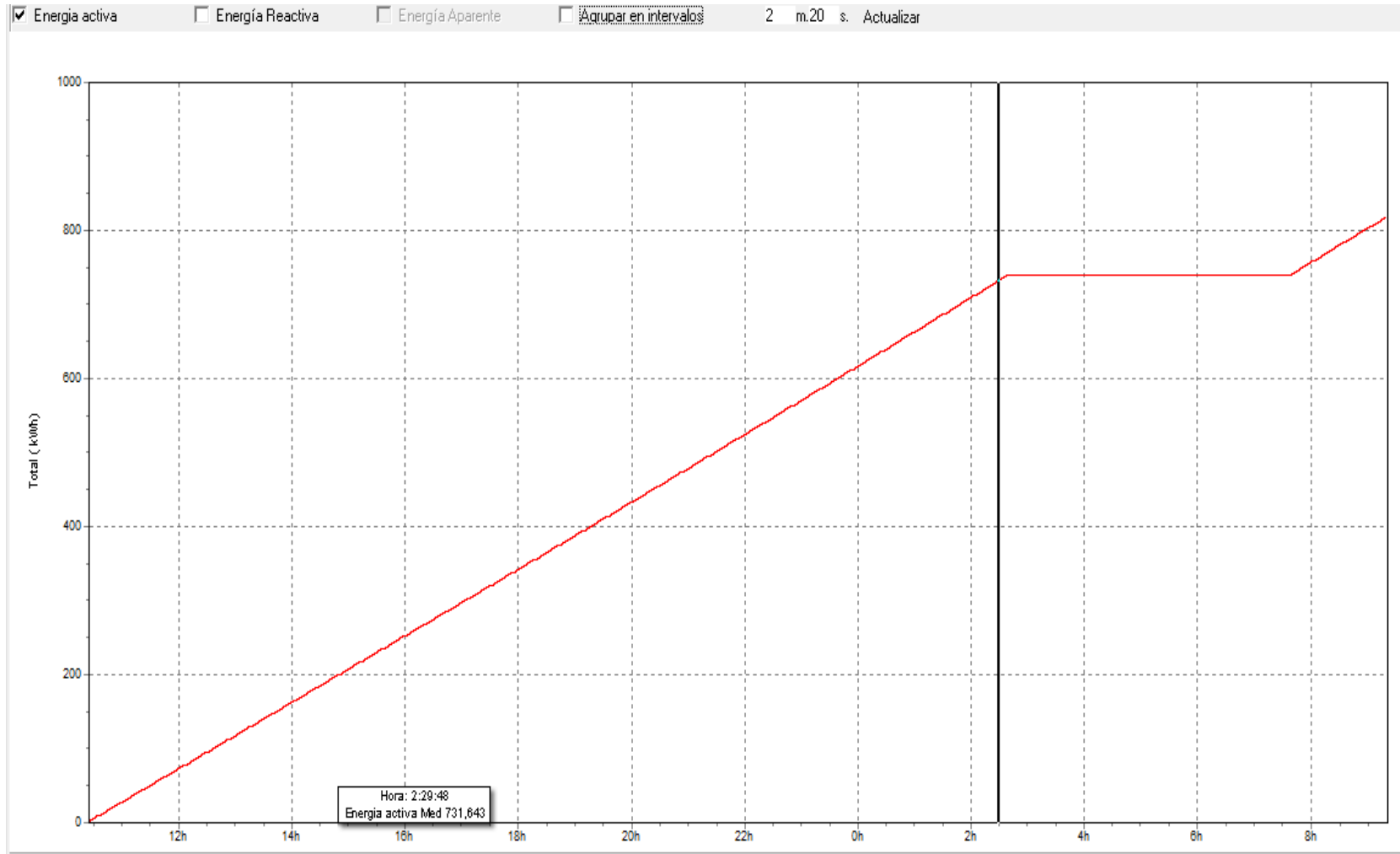




Figura 62: Energía activa, prueba especial, velocidad máxima por 24 h



Paso seguido se procedió a montar la prueba con regulación por un periodo de tiempo de 24 horas, la cual está comprendida entre fechas agosto 01 a las 09:43 hasta agosto 02 a las 09:55, la Figura 63: Prueba especial, automatización activa por 24 horas, indica el comportamiento de las variables humedad relativa y temperatura para este periodo de tiempo. Se puede observar cómo se comporta mejor las variables en cuestión, en especial la humedad relativa, la Figura 64: Histograma temperatura, automatización activa por 24 horas y la Figura 65: Histograma humedad relativa, automatización activa por 24 horas, muestran los histogramas respectivos, se hace claridad en que se utiliza el cursor rojo para limitar el rango de datos, debido a que se presentó un error y el equipo de medición, este se encendió en una oficina cerca al salón, este valor tope inicial corresponde a la humedad de la oficina, en el momento de llevar el registrador al salón, este se estabiliza rápidamente. En los histogramas se confirma los resultados esperados y se puede asegurar que el comportamiento de las variables ha mejorado significativamente, pasando de una desviación estándar en la variable temperatura de 2.4 a 1.5 y de 4.9 a 1.5 en la variable humedad.

La Figura 66: Potencia activa: Prueba especial, automatización activa por 24 horas. Indica el comportamiento de la potencia demandada por los dos equipos de humidificación, es claro ver como la potencia varía de acuerdo a los condiciones del salón encontrando un valor máximo de 37.52KW a las 14:03 y un valor mínimo de 17.9KW a las 05:55 de la mañana. La Figura 67: Energía activa: Prueba especial, automatización activa por 16 horas. Indica que en el rango de las 16 horas, el cual también fue medido en la prueba anterior, y que inicia a las 10:07 y finaliza en la posición del cursor rojo 02:06, el equipo tiene un acumulado de consumo de energía activa equivalente a 467 KWh, lo cual confirma el ahorro significativo, al compararlo con los 731KWh que consume el equipo a velocidad máxima.

$$\text{Ahorro de energía} = (731 - 467) \text{ KW} = 264\text{KWh} \quad (10)$$

La ecuación 10 describe el ahorro de energía en 16 horas, el valor de 264KWh es un estimado de ahorro, calculado con base a las mediciones realizadas en esta prueba.

Para determinar el ahorro en las 24 horas por motivo de facilitar cálculos se procede a encontrar el consumo total de energía activa demandada por el sistema cuando este se encuentra a velocidad máxima, como en esta prueba tenemos un paro, el valor se calcula con el promedio hora, el cual es de 45.72KW, ecuación 11.

$$\text{Energía activa en 24h} = (45.72 * 24) \text{ KWh} = 1098\text{KWh} \quad (11)$$

En la Figura 68: Energía activa: Prueba especial, automatización activa por 24 horas. Se indica que el consumo en el periodo de tiempo de 24h es de 646.8KWh, de este modo el ahorro por día será el encontrado en la ecuación 12.

$$\text{Ahorro de energía activa por día} = (1098 - 646.8) \text{ KWh} = 451.2 \text{ KWh} \quad (12)$$

Conociendo de antemano que el KWh en la fábrica se paga a un promedio de \$200, se puede concluir que el dinero ahorrado oscila alrededor de. Ecuación 13.

$$\text{Dinero ahorrado en 24 horas} = 451.2 \text{ KWh} * \$200 = \$90240 \quad (13)$$

Figura 63: Prueba especial, automatización activa por 24 horas

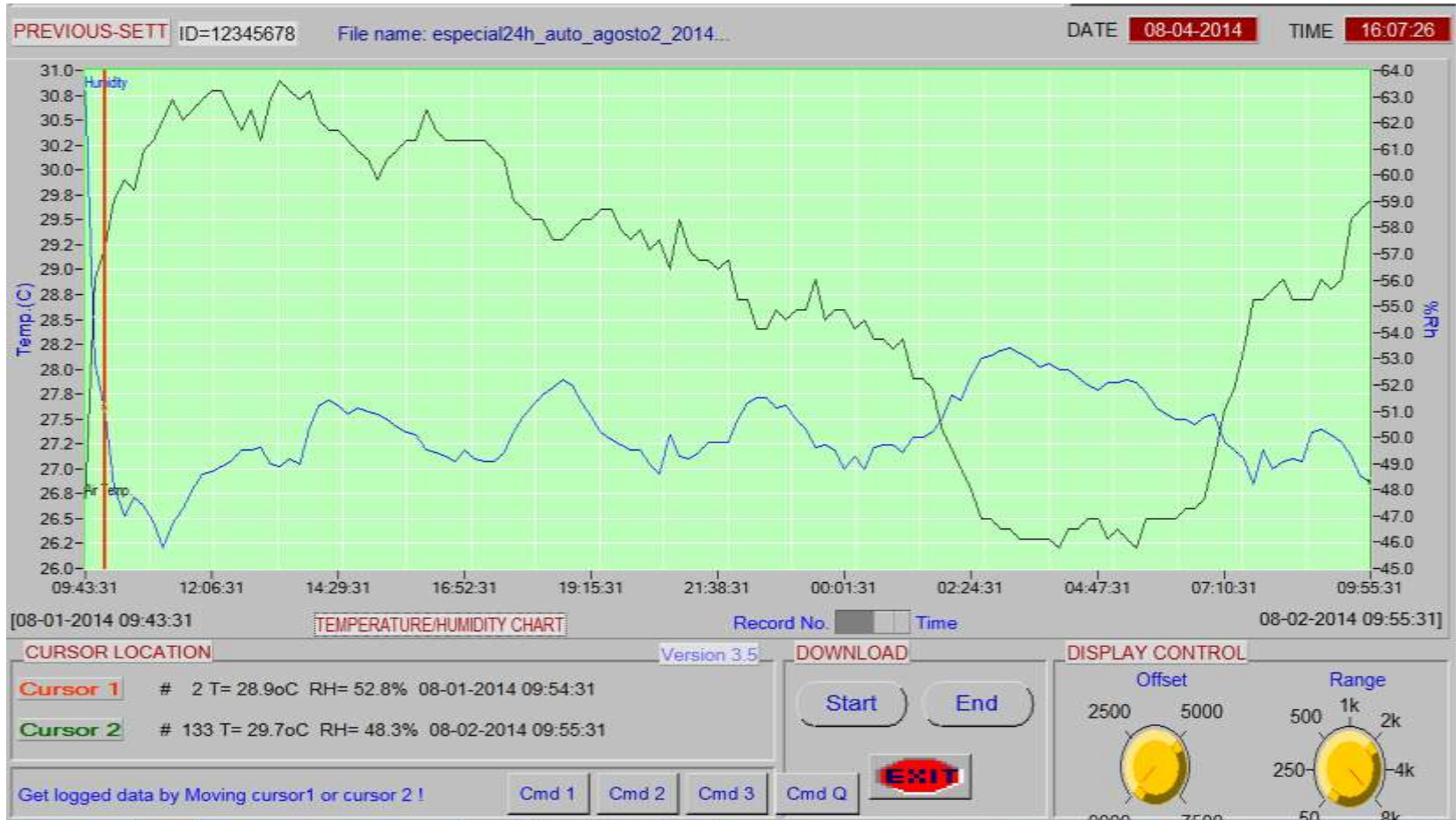


Figura 64: Histograma temperatura, automatización activa por 24 horas

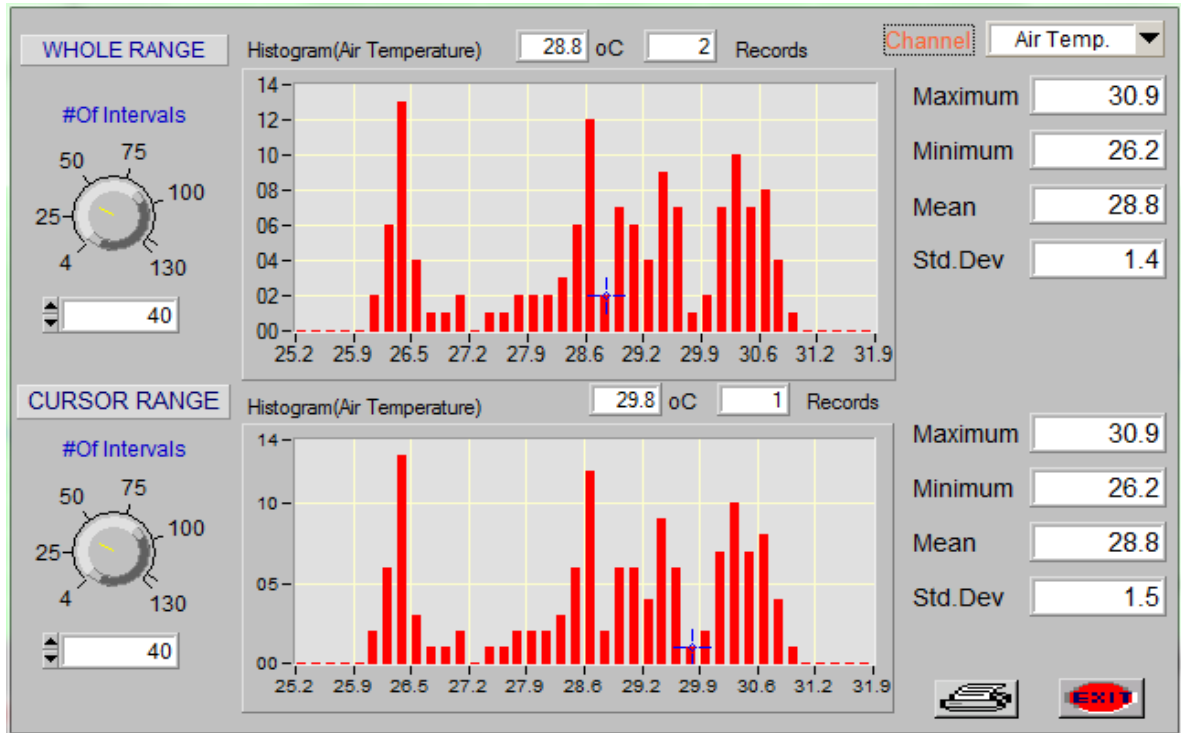


Figura 65: Histograma humedad relativa, automatización activa por 24 horas

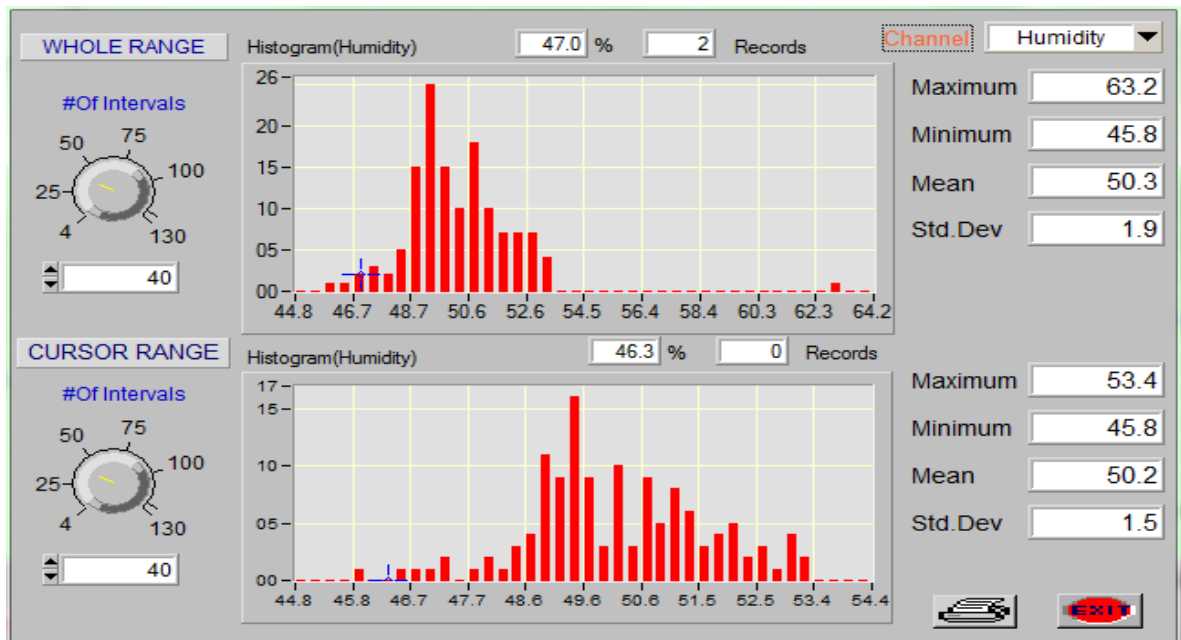


Figura 66: Potencia activa: Prueba especial, automatización activa por 24 horas.

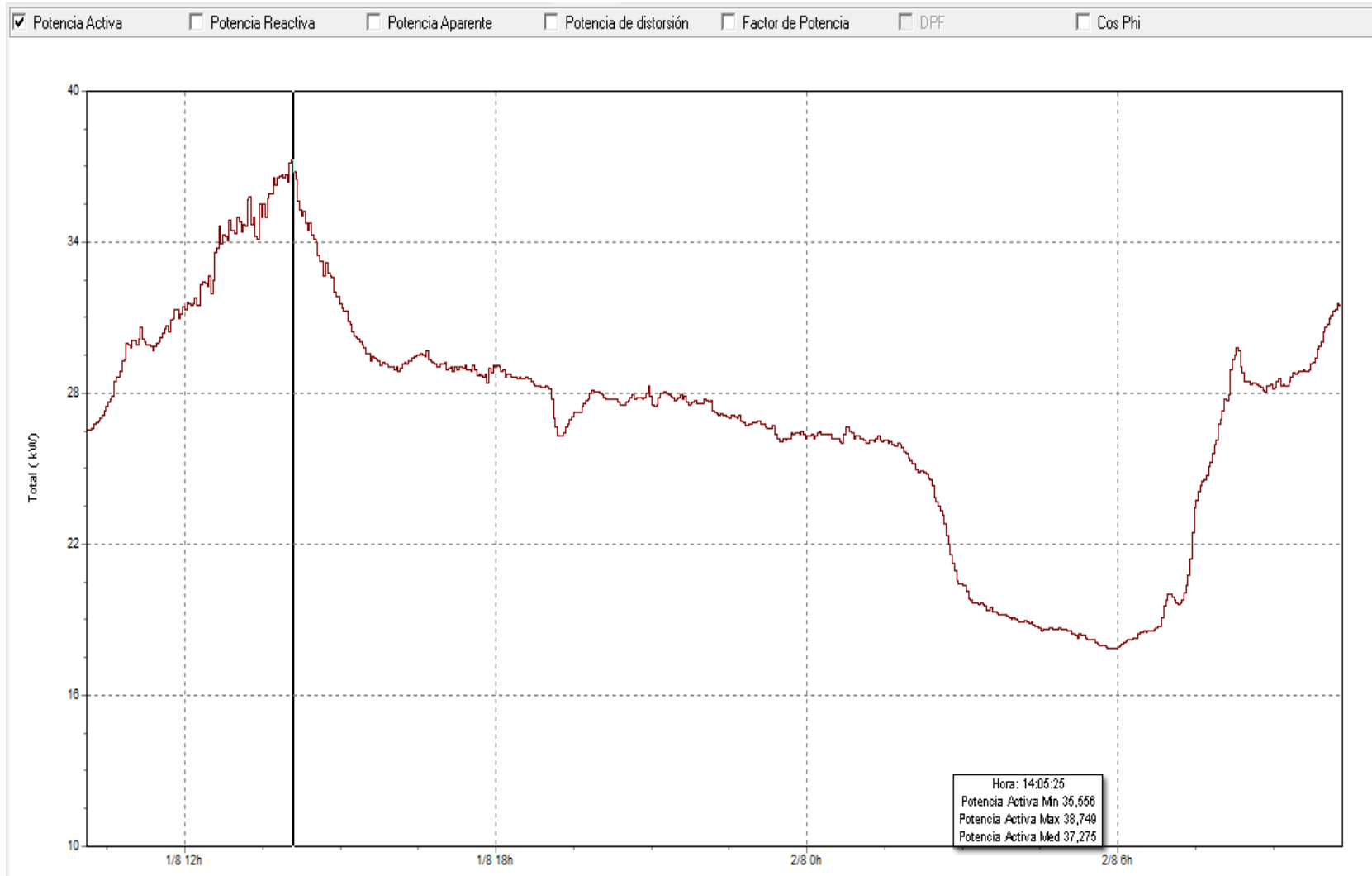


Figura 67: Energía activa: Prueba especial, automatización activa por 16 horas.

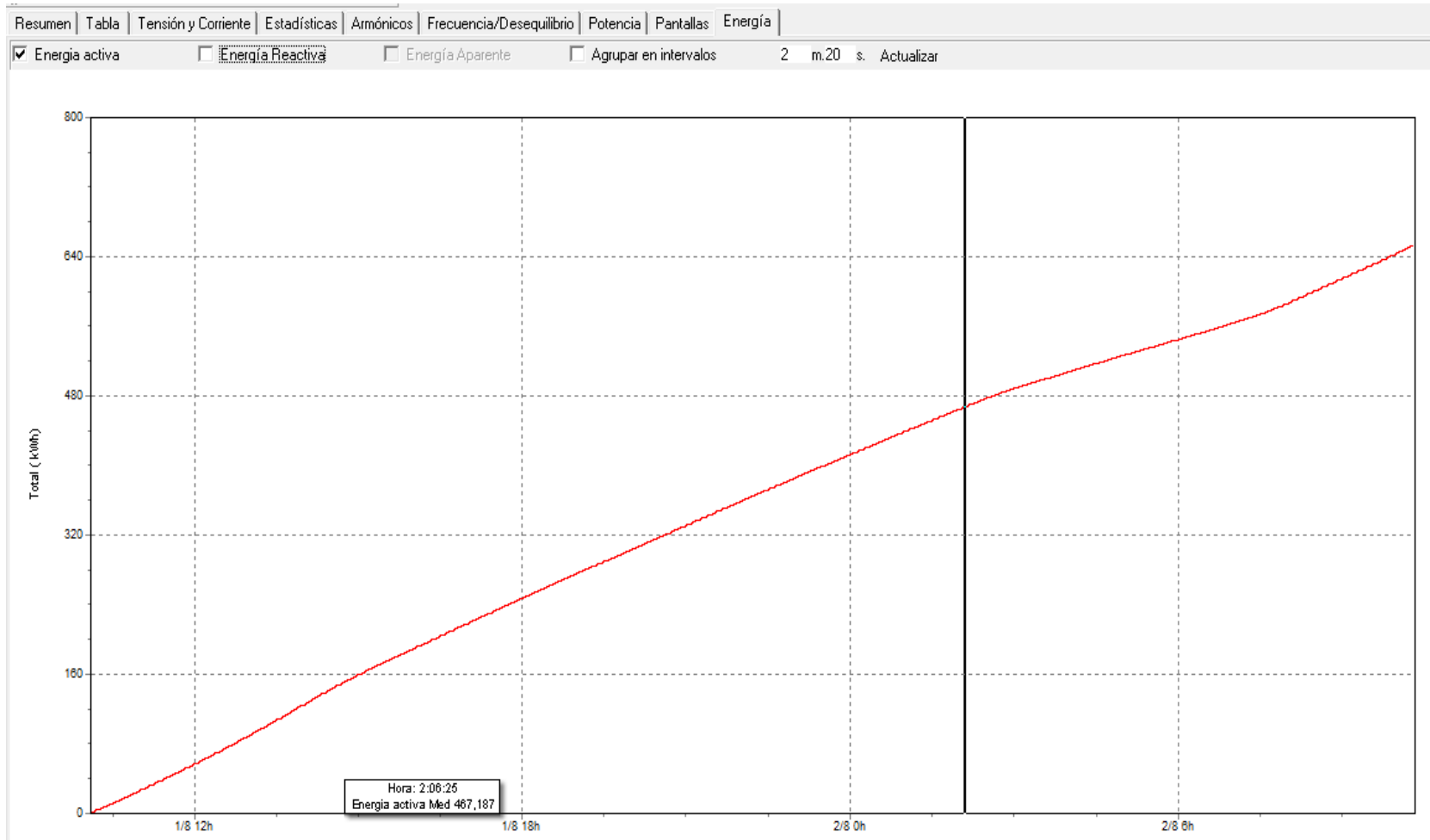
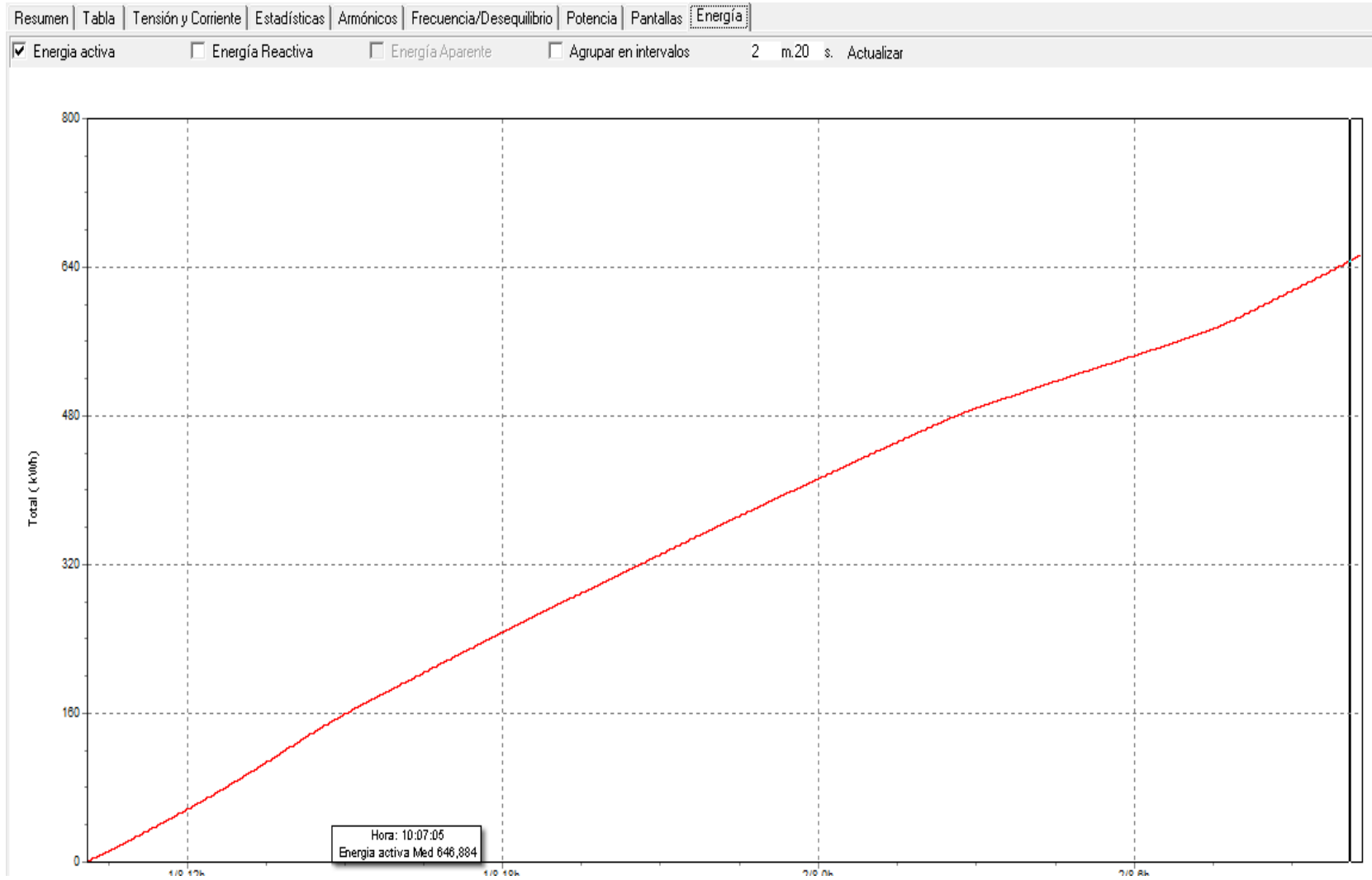


Figura 68: Energía activa: Prueba especial, automatización activa por 24 horas.



### 13 CONCLUSIONES GENERALES

- Se diseñó e implementó un sistema de instrumentación y control a los humidificadores de aire en la planta Coats cadena Andina SA que permitió mejorar las condiciones de las variables humedad relativa y temperatura al interior del salón de producción, además de disminuir los consumos de energía eléctrica.
- Se encontró con base a las consultas previas que el método adecuado para disminuir los consumos energéticos en cargas de par variable es regular la velocidad de trabajo de los equipos.
- El control en lazo cerrado permite tener mayor control sobre las variables a trabajar, en este caso humedad y temperatura.
- Se logró construir después de un proceso de planificación y diseño, un sistema que mejoró las condiciones y estabilidad de las variables de humedad y temperatura y que bajara los consumos de energía para realizar esta labor.
- El proceso de automatización reduce considerablemente el ahorro de energía eléctrica, en razón de 451 KWh según análisis realizados, aunque se debe dar claridad en que el ahorro diario está determinado por las condiciones ambientales del momento o el día en particular, de este modo se pueden presentar días en que se logre un ahorro mucho mayor o un ahorro más bajo.
- Con el sistema automatizado los valores de las desviaciones estándar de las variables humedad relativa y temperatura bajan, determinando un mejor comportamiento de estas, los datos se pueden observar en el capítulo 12
- El hecho de manipular las velocidades en las moto bombas genera ahorro de agua potable, ya que solo se utiliza lo necesario para mantener las condiciones previamente establecidas de humedad, además brinda estabilidad en dicha variable, los valores exactos del ahorro no se publican ya que se carecía de los elementos de medida que permitieran entregar los datos exactos.



- De acuerdo a los registros realizados y tomando como referencia el costo del KWh en la empresa Coats Cadena Andina SA igual a \$200, se estima que el ahorro en dinero diario para este proyecto llega a ser de más o menos \$90240 diarios, depende las condiciones ambientales del día, este valor multiplicado por un promedio de 24 días hábiles en el mes nos entrega un ahorro mes de alrededor de \$2.165.760.
- Se diseñó e implementó una interface hombre máquina que mejora la interacción de los operarios con el sistema de humidificación, facilitando su manejo y monitoreo de funcionamiento.
- Contar con una interface hombre maquina amigable facilita la operación y permite comprender mejor el proceso y el estado actual de las variables de proceso, humedad relativa y temperatura.
- Se realizó el montaje físico del tablero de control, previo a diseño, el cual cumple con las condiciones necesarias para alojar los elementos de control del sistema humidificador de aire.
- Se confirma que el mayor impacto en el proceso de automatización se realiza sobre la variable humedad relativa y los consumos energéticos, la variable temperatura aunque mejora su comportamiento, no se posee los elementos necesarios para garantizar su estabilidad.
- El mayor impacto sobre la variable humedad relativa ocurre cuando esta se encuentra por debajo del punto de referencia, generalmente en el día, cuando esta variable presenta valores muy altos, en algunas madrugadas, no se poseen elementos que permitan bajar estos valores, con el sistema actual solo se recircula el aire del interior y se apagan las motobombas.

## 14 RECOMENDACIONES

- Es pertinente delimitar el área de acción para los humidificadores de aire, ya que por tratarse de una zona abierta aumenta el consumo de energía eléctrica para realizar la tarea y genera inestabilidad en las variables.
- Establecer mantenimientos periódicos a los equipos que componen el sistema, en especial se recomienda limpiar frecuentemente las cabezas captadoras de los sensores analógicos y los ventiladores de los variadores de velocidad, ya que el ambiente en la hilandería presenta mucha polución.
- Verificar el estado de las poleas que están montadas sobre los ventiladores, ya que están desgastadas y provocan deslizamiento, además replantear la transmisión de potencia pasando de poleas y bandas en (V) a un sistema con poleas dentadas en donde la eficiencia llega a ser mayor.
- La operación incorrecta del sistema, encender o apagar sin criterio, puede llegar a ocasionar condiciones inestables en las variables humedad y temperatura, perjudicando la calidad de la producción.
- En todo momento se debe limitar la velocidad mínima en los motores que accionan las bombas, ya que una velocidad demasiado baja deteriora los sellos de estas., para nuestro caso se estableció el valor de 30Hz para 870 rpm en el motor.
- Las condiciones de un salón abierto dificulta el control sobre las variables humedad relativa y temperatura y aumentan considerablemente el consumo de energía eléctrica y agua potable.

## 15 BIBLIOGRAFÍA

- [1] H. Norman, «Introduccion a los textiles».
- [2] D. J. Suter, Moderna tecnica del acondicionamiento en la industria textil.
- [3] CUBAAZUL, «Yahoo,» 2007. [En línea]. Available: <https://es.answers.yahoo.com/question/index?qid=20070614144957AAolqjU>. [Último acceso: 23 Julio 2014].
- [4] I. S. d. F. y. R. e. R. p. e. Profesorado, «cnice,» [En línea]. Available: [http://concurso.cnice.mec.es/cnice2005/93\\_iniciacion\\_interactiva\\_materia/curso/materiales/propiedades/temperatura.htm](http://concurso.cnice.mec.es/cnice2005/93_iniciacion_interactiva_materia/curso/materiales/propiedades/temperatura.htm). [Último acceso: 23 Julio 2014].
- [5] E. c. e. l. r. cubana, «EcuRed,» [En línea]. Available: [http://www.ecured.cu/index.php/Bombas\\_Hidra%C3%BAlicas](http://www.ecured.cu/index.php/Bombas_Hidra%C3%BAlicas). [Último acceso: 23 Julio 2014].
- [6] R. Cobo, «EL ABC DE LA AUTOMATIZACION,» Chile.
- [7] s. relectric, «schneider electric,» 20 12 2010. [En línea]. Available: [http://www.schneiderelectric.es/sites/spain/es/soporte/faq/faq\\_main.page?page=content&country=ES&lang=es&locale=es\\_es&id=FA31652&redirect=true](http://www.schneiderelectric.es/sites/spain/es/soporte/faq/faq_main.page?page=content&country=ES&lang=es&locale=es_es&id=FA31652&redirect=true).
- [8] V. D. V. Y. A. ELECTRONICOS, «Jose M. Mansilla,» 2011. [En línea]. Available: [http://conbotassucias.files.wordpress.com/2011/10/variadores-de-velocidad\\_jmmc.pdf](http://conbotassucias.files.wordpress.com/2011/10/variadores-de-velocidad_jmmc.pdf). [Último acceso: 19 Julio 2014].
- [9] ehu, «ehu,» [En línea]. Available: <http://www.ehu.es/eu/web/gipuzkoa>. [Último acceso: 17 junio 2014].
- [10] U. N. d. L. Plata, «HISTORIA DE LOS PLC's,» [En línea]. Available: <http://www.ing.unlp.edu.ar/electrotecnia/procesos/apuntes/ApuntePLC.pdf>. [Último acceso: 24 Julio 2014].
- [11] J. A. F. Ramírez, «REGULADOR PID,» Mayo 2012. [En línea]. Available: <http://www.iit.upcomillas.es/pfc/resumenes/4fbd1db995748.pdf>. [Último acceso: 23 Julio 2014].
- [12] P. SIEMENS, «Programacion SIEMENS,» 2014. [En línea]. Available: <http://programacionsiemens.com/>. [Último acceso: 23 Julio 2014].
- [13] A. V. E. Jorge Estrada L, «Lazos de Control».

- [14] Motortico, «Motortico,» Enero 2014. [En línea]. Available: [http://www.motortico.com/biblioteca/MotorTico/2014%20ENE%20-%20Cargas%20de%20Torque%20Variable\\_Consideraciones.pdf](http://www.motortico.com/biblioteca/MotorTico/2014%20ENE%20-%20Cargas%20de%20Torque%20Variable_Consideraciones.pdf). [Último acceso: 23 julio 2014].
- [15] Siemens, Simatic STEP 7 Basic V12, manual de sistema, 2013.
- [16] Siemens, Simatic S7 controlador Programable S7 1200, manual del sistema, Alemania, 2014.
- [17] C. M. Velez, «Control,» 2012.
- [18] D. J. Suter, Moderna tecnica del acondicionamiento en la industria textil.

## **16 ANEXO**

### **A.1. CÓDIGO DE PROGRAMACIÓN PLC Y HMI, PRESENTADO EN FORMATO DIGITAL.**