

AUTOMATIZACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE UN SISTEMA
HUMIDIFICADOR TIPO SPRAY EN DUCTOS DE AIRE ACONDICIONADO.

Autores:

BRAYAN DANILO ORTIZ HERNÁNDEZ

NILSON OCHOA GUERRERO

UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA

FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA

ESCUELA DE INGENIERIAS

BUCARAMANGA

2013

AUTOMATIZACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE UN SISTEMA
HUMIDIFICADOR TIPO SPRAY EN DUCTOS DE AIRE ACONDICIONADO.

Autores:

BRAYAN DANILO ORTIZ HERNÁNDEZ

NILSON OCHOA GUERRERO

Aspirantes al título de ingeniero mecánico

Proyecto de grado

Director, Profesor

René Carreño Olejua

Coodirector, Profesor

Javier Mauricio Castellanos

UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA

FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA

ESCUELA DE INGENIERIAS

BUCARAMANGA

2013

Nota de aceptación:

Firma del presidente del jurado

Firma del jurado

Firma del jurado

Bucaramanga, 18 de Marzo de 2013

DEDICATORIA

A mis padres Flor de Maria Hernández Sanchez, Danilo de Jesus Ortiz Barbosa, les dedico este libro por su incesante apoyo en el camino que me guía en el saber y el éxito de mis ideales.

(Ortiz, Brayan)

DEDICATORIA

A los seres más importantes de mi vida, mis padres Olga Ruth Guerrero y Jaime Ochoa, quienes han sido el motor que me impulsa a salir adelante hasta alcanzar mis metas, son ellos mi mayor alegría, mi ejemplo y motivación; a ellos agradezco por mi vida y este nuevo logro que sin sus esfuerzos no hubiese sido posible.

De igual manera a mi hermana Andrea Ochoa Guerrero por mostrarme un gran ejemplo de disciplina y empuje, a mi novia Lizeth Olaya Suarez por su confianza y apoyo incondicional y a mi compañero de proyecto por su dedicación y compromiso.

(Ochoa, Nilson)

AGRADECIMIENTOS

Se agradece a la Universidad Pontificia Bolivariana por su colaboración en la parte económica del presente proyecto de grado.

Agradecimientos a los ingenieros Ariel René Carreño Olejua, Javier Mauricio Castellanos Olarte y Edwin Jesús Córdoba Tuta por su apoyo en el conocimiento científico para la culminación de este proyecto.

CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN	13
2. OBJETIVOS	14
2.1. OBJETIVO GENERAL	14
2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	14
3. METODOLOGÍA	16
3.1. Recopilación de información.	16
3.2. Construcción del sistema humidificador.	16
3.3. Construcción emulador de clima.	17
3.4. Adaptación del sistema humidificador.	18
3.5. Automatización.	19
3.6. Adquisición de datos.	21
4. MARCO TEÓRICO	24
4.1. HUMEDAD	24
4.1.1. Humedad absoluta.	24
4.1.2. Humedad relativa.	24
4.1.3. Humedad de saturación.	25
4.2. HUMIDIFICACIÓN	26
4.3. SISTEMAS DE HUMIDIFICACIÓN	26
4.3.1. Humidificadores de bandeja con serpentín de calentamiento.	27
4.3.2. Humidificadores de vapor.	27
4.3.3. Humidificadores de pulverización o spray.	28
4.3.4. Humidificadores de filtro húmedo.	28
4.3.5. Humidificadores de evaporación.	29
4.3.6. Humidificadores con emisión directa al ambiente tratado.	29
4.3.7. Humidificadores con emisión a red de conductos de distribución de aire.	30
4.4. CONTROL DE LA HUMEDAD	30
4.4.1. Términos clave.	31
4.4.2. Modos de control.	32
4.4.3. Control.	32
5. MATERIALES Y RESULTADOS DE LA CARACTERIZACIÓN DEL PROTOTIPO.	34
5.1. Materiales Emulador de Clima.	34
5.1.1. Ensamble Emulador de Clima.	38

5.2.	Sistema Humidificador.	39
5.3.	Caracterización.	41
5.3.1.	Velocidad alta Fan Coil.	43
5.3.1.1.	Resultados.	43
5.3.2.	Velocidad media Fan Coil.	44
5.3.2.1.	Resultados.	44
5.3.3.	Velocidad baja Fan Coil.	45
5.3.3.1.	Resultados.	45
5.3.4.	Caracterización sistema humidificador tipo spray emulando el clima de Barrancabermeja.	46
5.3.4.1.	Resultados.	47
5.4.	Análisis de resultados.	47
6.	CONCLUSIONES	49
7.	RECOMENDACIONES	50
A.	ANEXO: VELOCIDADES FAN COIL	53
A.1.	Velocidad alta Fan Coil.	53
A.1.1.	Temperatura promedio de entrada.	53
A.1.2.	Humedad promedio.	54
A.1.3.	Temperatura promedio de salida.	54
A.1.4.	Temperatura promedio de entrada, humedad promedio y temperatura promedio de salida.	55
A.1.5.	Gráfica Carta Psicrométrica.	55
A.1.6.	Valores relativos temperatura y humedad primera prueba.	56
A.1.7.	Valores relativos temperatura y humedad segunda prueba.	57
A.1.8.	Valores relativos temperatura y humedad tercera prueba.	59
A.1.9.	Valores relativos temperatura y humedad cuarta prueba.	60
A.1.10.	Valores relativos temperatura y humedad quinta prueba.	62
A.1.11.	Valores relativos temperatura y humedad sexta prueba.	63
A.1.12.	Valores relativos temperatura y humedad séptima prueba.	65
A.1.13.	Valores relativos temperatura y humedad octava prueba.	66
A.2.	Velocidad media Fan Coil.	68
A.2.1.	Temperatura promedio de entrada.	68
A.2.2.	Humedad promedio.	68
A.2.3.	Temperatura promedio de salida.	69
A.2.4.	Temperatura promedio de entrada, humedad promedio y temperatura promedio de salida.	69
A.2.5.	Gráfica Carta Psicrométrica.	70
A.2.6.	Valores relativos temperatura y humedad primera prueba.	70
A.2.7.	Valores relativos temperatura y humedad segunda prueba.	72
A.2.8.	Valores relativos temperatura y humedad tercera prueba.	73
A.2.9.	Valores relativos temperatura y humedad cuarta prueba.	75
A.2.10.	Valores relativos temperatura y humedad quinta prueba.	76
A.2.11.	Valores relativos temperatura y humedad sexta prueba.	78

A.2.12. Valores relativos temperatura y humedad séptima prueba. . . .	79
A.2.13. Valores relativos temperatura y humedad octava prueba. . . .	81
A.3. Velocidad baja Fan Coil.	82
A.3.1. Temperatura promedio de entrada.	82
A.3.2. Humedad promedio.	83
A.3.3. Temperatura promedio de salida.	83
A.3.4. Temperatura promedio de entrada, humedad promedio y temperatura promedio de salida.	84
A.3.5. Gráfica Carta Psicrométrica.	84
A.3.6. Valores relativos temperatura y humedad primera prueba. . . .	85
A.3.7. Valores relativos temperatura y humedad segunda prueba. . .	86
A.3.8. Valores relativos temperatura y humedad tercera prueba. . . .	88
A.3.9. Valores relativos temperatura y humedad cuarta prueba. . . .	89
A.3.10. Valores relativos temperatura y humedad quinta prueba. . . .	91
A.3.11. Valores relativos temperatura y humedad sexta prueba. . . .	92
A.3.12. Valores relativos temperatura y humedad séptima prueba. . . .	94
A.3.13. Valores relativos temperatura y humedad octava prueba. . . .	95
B. ANEXO: EMULACIÓN DE PISOS TÉRMICOS	97
B.1. Emulación de la temperatura y la humedad de Barrancabermeja. . .	97
B.1.1. Temperatura promedio de entrada.	97
B.1.2. Humedad promedio.	98
B.1.3. Temperatura promedio de salida.	98
B.1.4. Temperatura promedio de entrada, humedad promedio y temperatura promedio de salida.	99
B.1.5. Gráfica Carta Psicrométrica.	99
B.1.6. Valores relativos temperatura y humedad primera prueba. . . .	100
B.1.7. Valores relativos temperatura y humedad segunda prueba. . .	101
B.1.8. Valores relativos temperatura y humedad tercera prueba. . . .	103
B.1.9. Valores relativos temperatura y humedad cuarta prueba. . . .	104
B.1.10. Valores relativos temperatura y humedad quinta prueba. . . .	106
B.1.11. Valores relativos temperatura y humedad sexta prueba. . . .	107
B.1.12. Valores relativos temperatura y humedad séptima prueba. . . .	109
B.1.13. Valores relativos temperatura y humedad octava prueba. . . .	110

LISTA DE FIGURAS

3.1. Campanas de acoplamiento al sistema de almacenamiento y acondicionamiento de aire.	19
3.2. Configuración INAT DDE server. IP fija del PLC: 10.150.76.20	22
3.3. Tablas dinámicas en Excel para la adquisición: a) Datos de las variables. b) Tiempo de muestreo y set point. c) Inicio/fin adquisición de datos.	23
5.1. Primera Sección Codos	35
5.2. Segunda Sección Codos	35
5.3. Tercera Sección Codos	36
5.4. Cuarta Sección Codos	36
5.5. Sección de extensión 1	37
5.6. Sección de extensión 2	37
5.7. Sección de reducción	37
5.8. Emulador de clima	38
5.9. Esquema instrumentación recipiente	40
5.10. Configuración red Profibus, MPI y Ethernet.	42
A.1. Comportamiento promedio temperatura de entrada velocidad alta Fan Coil.	53
A.2. Comportamiento promedio humedad velocidad alta Fan Coil.	54
A.3. Comportamiento promedio temperatura de salida velocidad alta Fan Coil.	54
A.4. Comportamiento promedio temperatura de entrada, humedad y temperatura de salida velocidad alta Fan Coil.	55
A.5. Carta psicrométrica velocidad alta Fan Coil.	55
A.6. Delta temperatura entrada.	56
A.7. Delta humedad.	56
A.8. Delta temperatura salida.	57
A.9. Delta temperatura entrada.	57
A.10. Delta humedad.	58
A.11. Delta temperatura salida.	58
A.12. Delta temperatura entrada.	59
A.13. Delta humedad.	59
A.14. Delta temperatura salida.	60
A.15. Delta temperatura entrada.	60
A.16. Delta humedad.	61
A.17. Delta temperatura salida.	61
A.18. Delta temperatura entrada.	62
A.19. Delta humedad.	62

A.20.Delta temperatura salida.	63
A.21.Delta temperatura entrada.	63
A.22.Delta humedad.	64
A.23.Delta temperatura salida.	64
A.24.Delta temperatura entrada.	65
A.25.Delta humedad.	65
A.26.Delta temperatura salida.	66
A.27.Delta temperatura entrada.	66
A.28.Delta humedad.	67
A.29.Delta temperatura salida.	67
A.30.Comportamiento promedio humedad velocidad media Fan Coil	68
A.31.Comportamiento promedio humedad velocidad media Fan Coil.	68
A.32.Comportamiento promedio temperatura de salida velocidad media Fan Coil.	69
A.33.Comportamiento promedio temperatura de entrada, humedad y temperatura de salida velocidad media Fan Coil.	69
A.34.Carta psicrométrica velocidad media Fan Coil.	70
A.35.Delta temperatura entrada.	70
A.36.Delta humedad.	71
A.37.Delta temperatura salida.	71
A.38.Delta temperatura entrada.	72
A.39.Delta humedad.	72
A.40.Delta temperatura salida.	73
A.41.Delta temperatura entrada.	73
A.42.Delta humedad.	74
A.43.Delta temperatura salida.	74
A.44.Delta temperatura entrada.	75
A.45.Delta humedad.	75
A.46.Delta temperatura salida.	76
A.47.Delta temperatura entrada.	76
A.48.Delta humedad.	77
A.49.Delta temperatura salida.	77
A.50.Delta temperatura entrada.	78
A.51.Delta humedad.	78
A.52.Delta temperatura salida.	79
A.53.Delta temperatura entrada.	79
A.54.Delta humedad.	80
A.55.Delta temperatura salida	80
A.56.Delta temperatura entrada.	81
A.57.Delta humedad.	81
A.58.Delta temperatura salida.	82
A.59.Comportamiento promedio temperatura de entrada velocidad baja Fan Coil.	82
A.60.Comportamiento promedio humedad velocidad baja Fan Coil.	83
A.61.Comportamiento promedio temperatura de salida velocidad baja Fan Coil.	83
A.62.Comportamiento promedio temperatura de entrada, humedad y temperatura de salida velocidad baja Fan Coil.	84

A.63. Carta psicrométrica velocidad baja Fan Coil.	84
A.64. Delta temperatura entrada.	85
A.65. Delta humedad.	85
A.66. Delta temperatura salida.	86
A.67. Delta temperatura entrada.	86
A.68. Delta humedad.	87
A.69. Delta temperatura salida.	87
A.70. Delta temperatura entrada.	88
A.71. Delta de humedad.	88
A.72. Delta temperatura salida.	89
A.73. Delta temperatura entrada.	89
A.74. Delta humedad.	90
A.75. Delta temperatura salida.	90
A.76. Delta temperatura entrada.	91
A.77. Delta humedad.	91
A.78. Delta temperatura salida.	92
A.79. Delta temperatura entrada.	92
A.80. Delta humedad.	93
A.81. Delta temperatura salida.	93
A.82. Delta temperatura entrada.	94
A.83. Delta humedad.	94
A.84. Delta temperatura salida.	95
A.85. Delta temperatura entrada.	95
A.86. Delta humedad.	96
A.87. Delta temperatura salida.	96
B.1. Comportamiento promedio temperatura de entrada Clima Barrancabermeja. . . .	97
B.2. Comportamiento promedio humedad Clima Barrancabermeja.	98
B.3. Comportamiento promedio temperatura de salida Clima Barrancabermeja. . . .	98
B.4. Comportamiento promedio temperatura de entrada, humedad y temperatura de salida Clima Barrancabermeja.	99
B.5. Carta psicrométrica clima Barrancabermeja.	99
B.6. Delta temperatura entrada.	100
B.7. Delta humedad.	100
B.8. Delta de temperatura salida.	101
B.9. Delta temperatura entrada.	101
B.10. Delta humedad.	102
B.11. Delta temperatura salida.	102
B.12. Delta temperatura entrada.	103
B.13. Delta humedad.	103
B.14. Delta temperatura salida.	104
B.15. Delta temperatura entrada.	104
B.16. Delta humedad.	105
B.17. Delta temperatura salida.	105
B.18. Delta temperatura entrada.	106

B.19.Delta humedad. 106
B.20.Delta temperatura salida. 107
B.21.Delta temperatura entrada. 107
B.22.Delta humedad. 108
B.23.Delta temperatura salida. 108
B.24.Delta temperatura entrada. 109
B.25.Delta humedad. 109
B.26.Delta temperatura salida. 110
B.27.Delta temperatura entrada. 110
B.28.Delta humedad. 111
B.29.Delta temperatura salida. 111

LISTA DE TABLAS

4.1. Temperaturas de saturación	25
5.1. Condiciones ambientales Barrancabermeja.	42
5.2. Frecuencias de atomización.	46

RESUMEN GENERAL DE TRABAJO DE GRADO

TITULO: AUTOMATIZACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE UN SISTEMA HUMIDIFICADOR TIPO SPRAY EN DUCTOS DE AIRE ACONDICIONADO

AUTORES: Brayan Danilo Ortiz Hernández
Nilson Ochoa Guerrero

FACULTAD: Facultad de Ingeniería Mecánica

DIRECTOR: Ariel Rene Carreño Olejua

RESUMEN

El proyecto surge como una iniciativa de investigación para analizar el comportamiento de la variable humedad y así poder realizar su caracterización por medio de curvas de comportamiento relacionadas en una carta psicrométrica, buscando de esta manera aportar una herramienta que permita realizar un mejor control sobre la humedad en un proceso de acondicionamiento de aire.

En este trabajo se presentan las actividades llevadas a cabo para la automatización y caracterización de un sistema humidificador tipo spray en ductos de aire acondicionado. A este sistema se adaptaron sensores de temperatura, humedad relativa y nivel con el fin de obtener las curvas características de comportamiento para las variables humedad y temperatura dentro de la geometría propuesta de ductos para aire acondicionado.

Palabras claves: humedad, sistemas de humidificación, curvas de comportamiento, acondicionamiento de aire, caracterización.

GENERAL SUMMARY OF WORK OF GRADE

TITLE: AUTOMATION AND CHARACTERIZATION OF A SPRAY IN DUCT
TYPE HUMIDIFIER AIR CONDITIONING

AUTHOR: Brayán Danilo Ortiz Hernández
Nilson Ochoa Guerrero

FACULTY: Faculty of Mechanical Engineering

DIRECTOR: Ariel Rene Carreño Olejua

ABSTRACT

This project emerged as a research initiative in order to analyze the performance of moisture as a variable, so it can be characterized by means of related performance graph curves in a psychometric chart, thereby seeking to provide a tool allowing for better control over moisture in an air conditioning process.

This paper presents the activities carried out for automation and characterization of a spray- type humidifying system in air conditioning ducts. This system was adapted with temperature sensors, relative performance graph curves for humidity and temperature as variables, within the proposed geometry for air conditioning ducts.

KEYWORDS: humidity, humidification systems, performance curves, air conditioning, characterization.

1. INTRODUCCIÓN

En la actualidad un proceso importante para las industrias alimenticias es la conservación de productos agrícolas por medio de la deshidratación y secado. El acondicionamiento de aire es un factor principal en la etapa de producción en el proceso mencionado para lograr nuevos productos con altos estándares de calidad.

Durante la etapa de acondicionamiento, un factor a tener en cuenta es el control de la humedad a niveles adecuados, ya que esta variable influye sobre la calidad del aire[1]; y así también la del producto a secar. Por esta razón el presente trabajo se centra en la construcción y adaptación de un dispositivo humidificador tipo spray (humidificador de pulverización), junto con su respectiva rutina de automatización, así como su caracterización en un sistema del laboratorio de automatización y control de procesos agro industriales, facilitando de esta forma la elaboración en un futuro de una estrategia de control que permita manipular la variable humedad dentro de los ductos de aire acondicionado a conformidad de la persona que se encuentre operando el equipo.

El dispositivo humidificador empleado en el desarrollo de este proyecto se encuentra instalado e instrumentado en un sistema de adquisición de datos. La medición de las variables de humedad y temperatura, se realizó a través del mismo, estableciendo las curvas características del dispositivo.

2. OBJETIVOS

2.1. OBJETIVO GENERAL

Caracterizar el comportamiento de la unidad de aire en un ducto de aire acondicionado a través de la instrumentación y automatización de un dispositivo humidificador por atomización de agua, que actuara como elemento final en un proceso de control de humedad de aire con fines de deshidratación.

2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- * Construir y adaptar un sistema humidificador de aire el cual pueda ser evaluado en procesos de control de humedad. Resultado: Sistema humidificador de aire. Indicador: Construcción del sistema humidificador de aire y adaptación de dicho sistema dentro de un anillo de secado.
- * Instrumentar el sistema humidificador de aire para realizar la lectura y el control de las diferentes variables a manejar. Resultado: Sistema humidificador con sus sensores y actuadores listo para automatizar. Indicador: Instalación de sensores y actuadores en el sistema humidificador de aire.
- * Automatizar el sistema humidificador de aire para realizar el control de la variable humedad. Resultado: Programa de automatización en lenguaje AWL para un controlador lógico programable (PLC) S7 300. Indicador: Implementar una rutina de control en tiempo real de la variable humedad dentro del sistema humidificador.
- * Caracterizar la variable de humedad en la geometría de aire acondicionado propuesta para el posterior diseño de un controlador. Resultado: Curvas de

comportamiento de humedad relacionadas en una carta psicrométrica. Indicador: Establecer las curvas de comportamiento de la humedad en función de una masa de agua atomizada y controlada manteniendo la velocidad de aire constante y un vector de temperatura entre 25°C y 65°C.

3. METODOLOGÍA

El proceso metodológico utilizado en el desarrollo del proyecto contemplo seis grandes fases:

- * Fase 1 Recopilación de información.
- * Fase 2: Construcción del sistema humidificador.
- * Fase 3: Construcción emulador de clima.
- * Fase 4: Adaptación del sistema humidificador.
- * Fase 5: Automatización.
- * Fase 6: Adquisición de datos.

Estas fases se describen a continuación.

3.1. Recopilación de información.

Durante esta fase se realizo la revisión bibliográfica y documentación del proceso de humidificación, como también se buscó información sobre el proceso de control de humedad. Las fuentes de información utilizadas incluyen artículos científicos de la base de datos Science Direct, paginas web y literatura técnica. Ademas se estudiaron a los diferentes catálogos e información técnica de los instrumentos a utilizar y de esta forma garantizar una perfecta instalación y puesta en marcha del sistema, dicha información fue consultada en la pagina web de SIEMENS.

3.2. Construcción del sistema humidificador.

La fase de construcción del sistema humidificador se llevo a cabo en el laboratorio de procesos industriales perteneciente a la Facultad de Ingeniería Mecánica

de la Universidad Pontificia Bolivariana Seccional Bucaramanga; donde se cuenta con todas las herramientas y elementos de seguridad industrial para garantizar que los procesos de manufactura cumplan con la normativa establecida y los estándares de calidad.

En dicho laboratorio se realizaron las respectivas modificaciones del recipiente contenedor el cual posee un volumen de dos litros y de esta manera se facilitó el acondicionamiento de los sensores de nivel y temperatura, la resistencia eléctrica, las líneas de tubería para el suministro, desagüe y la línea hacia la boquilla de atomización.

También se dio la necesidad de fabricar ciertas piezas empleadas en la adaptación del sistema ya que sus referencias no son comerciales y por tanto no se encontraron en el mercado local, supliendo de esta manera las funciones que estos elementos cumplen dentro del proyecto.

Por último se llevó a cabo la construcción de las diferentes bases metálicas utilizadas en la elaboración de este proyecto como lo son:

- * Base emulador de clima.
- * Base ductos de mezclado.
- * Base sistema humidificador.

Dichas bases fueron construidas en acero 1020 y la unión metal-metal se realizó por medio de un proceso de soldadura eléctrica con aporte 6013, el cual garantiza la rigidez necesaria para soportar las carcasas y esfuerzos residuales a los cuales se verán sometidas cuando los equipos sean puestos en funcionamiento.

3.3. Construcción emulador de clima.

Durante esta fase se realizó el ensamble de los ductos para aire acondicionado y el Fan Coil. Dicho ensamble culminó con las conexiones eléctricas para las diferentes velocidades de operación del equipo.

Una descripción más detallada de esta actividad se tiene en el capítulo 5, sección 5.1.1.

3.4. Adaptación del sistema humidificador.

Para la adaptación del sistema humidificador fue necesario utilizar una pequeña sección de ductos construidos en acero inoxidable, en los cuales se produce la mezcla entre el aire que proviene del emulador de clima y el fluido inyectado por medio de la boquilla. Para mejorar la mezcla, dentro de los ductos se cuenta con 7 resistencias eléctricas conectadas a una línea de 110 V y controladas por medio de relés de estado sólido localizados en el tablero de control.

También se cuenta con un ventilador acoplado a un motor eléctrico trifásico marca SIEMENS de 1/2 caballo de potencia, el cual tiene como función extraer el aire que circula dentro del emulador de clima y hacerlo pasar por el ducto de mezclado y posteriormente por el secador rotativo y así poder reingresar dicho aire al emulador.

Para la extracción y reincorporación del aire que circula dentro del emulador de clima, utilizado en el acondicionamiento de humedad y así después pasar por los secadores rotativos, se realizaron dos cortes rectangulares al costado derecho del emulador. En dichos cortes fueron acopladas dos campanas como se puede ver en la Figura 3.1, la primer campana ubicada en la parte mas cercana al Fan Coil tiene la función de extraer el aire y conducirlo por medio de un ducto flexible hasta la toma del ventilador acoplado en los ductos de mezclado; la segunda campana tiene la función de reingresar el aire al emulador de clima después de que se a realizado el proceso de humidificación y ha pasado por los secadores rotativos.



Figura 3.1.: Campanas de acoplamiento al sistema de almacenamiento y acondicionamiento de aire.

Durante esta fase se evito la entrada de materiales extraños como viruta y demás residuos que se pueden producir en el proceso de corte dentro del sistema para evitar fallas técnicas que puedan ser ocasionadas por estos materiales.

3.5. Automatización.

Las señales provenientes de los sensores de temperatura, humedad de aire y nivel son llevadas a un modulo de entradas analógicas e interpretadas a partir de un ET 200 M marca SIEMENS, el cual se encuentra conectado a un PLC S7 319-3 PN/DP.

Las lecturas de dichas señales se realizan a la entrada y salida del ducto mezclador ya que en estos puntos se puede evaluar con gran facilidad las condiciones del aire antes y después de cumplir con el objetivo del sistema el cual es establecer unas condiciones de temperatura y humedad constantes para mejorar el proceso de secado para productos agrícolas.

De acuerdo a los valores leídos en tiempo real se realiza una comparación en el bloque de programación establecido en la memoria del PLC y de esta forma se toman las decisiones necesarias para accionar los actuadores presentes en el

sistema como lo son:

- * Apertura o cierre de la electro válvula para el llenado del tanque de almacenamiento.
- * Apertura o cierre de la electro válvula para el vaciado del tanque de almacenamiento.
- * Apertura o cierre de la electro válvula para la humidificación.
- * Encendido o apagado de la resistencia del tanque de almacenamiento.
- * Encendido o apagado de las diferentes combinaciones para las resistencias ubicadas en el ducto de mezclado.

Las señales leídas son llevadas a un FB (Funktionsbaustein) o Bloque de función en la memoria programable del PLC (Programmable Logic Controller) y allí debidamente escalables dentro del rango digital de medición del módulo de adquisición de datos y escalados de acuerdo a la interpretación que se da a cada una de las señales, esto es por ejemplo una señal digital medida en el rango de temperatura o humedad con su respectiva conversión a BCD (Binar Code Decimal) o IEEE para la visualización de los datos.

Éstos se almacenaran en una base de datos, para el caso DB1 (Datenbaustein), correspondiente dentro de la estructura de programa al lugar en el PLC donde estarán almacenados los datos correspondientes al proceso en mención. A través de la dirección IP del PLC controlador, pueden ser leídos los datos del proceso alojados en este DB1 a donde elementos pasivos y activos en un bus de comunicación y automatización pueden tener acceso como por ejemplo Touch Panels para el accionamiento y visualización de señales así como también Software para la supervisión y control.

El ensamble del tablero de control está compuesto por: canaletas de 2*3 cm para facilitar el tendido del cableado, riel DIN para el montaje de variadores de frecuencia, bornes, módulo de adquisición modelo ET 200M con sus entradas análogas y digitales, fuentes de 24 VDC, relés de estado sólido y breakers.

Por otro lado, ya ubicados todos los elementos de la caja de control se realizó el respectivo cableado de las partes, por ejemplo se conectó el motor trifásico del ventilador ubicado antes del ducto de mezclado.

3.6. Adquisición de datos.

Para la adquisición de datos en tiempo real se hizo necesaria la implementación de un servidor DDE (Dynamic Data Exchange), el cual permite el intercambio de datos entre aplicaciones del sistema operativo Windows.

En esta ocasión se utilizó la versión para red Ethernet del servidor DDE INAT.

Dicho servidor puede ser configurado con los siguientes protocolos de comunicación:

- * S7
- * S5
- * Modbus
- * netLINK
- * CLX
- * PLC-5/SCL500
- * MELSEC-Q

Para este proyecto se empleó el protocolo S7 ya que el PLC empleado es un S7 319-3 PN/DP el cual basa su comunicación en dicho protocolo. Durante la configuración fue necesario establecer una dirección IP fija para el PLC y así garantizar que la comunicación no sufriera interrupciones, ya que uno de los parámetros que pide el servidor DDE es esta dirección tal y como se muestra en la Figura 3.2

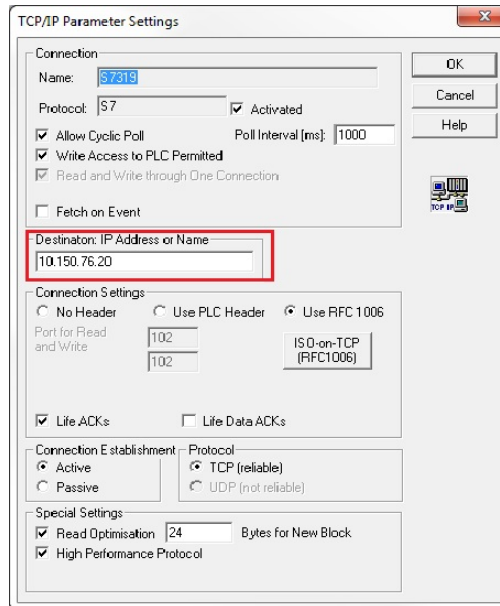


Figura 3.2.: Configuración INAT DDE server. IP fija del PLC: 10.150.76.20

Para realizar la adquisición de un dato por medio del servidor DDE utilizando Microsoft Office Excel se debe escribir la siguiente ecuación en una celda en blanco del libro.

$$=TCPIPH1|'S7319'|'DB1.DBDO'$$

Donde:

- * TCPIPH1 es el nombre ejecutable desde Microsoft Office Excel para el servidor DDE.
- * S7319 es el nombre asignado a la comunicación entre el servidor DDE y el PLC.
- * DB1.DBDO es el ítem en el PLC al cual se desea acceder para obtener la información.

Después de terminar la configuración del servidor DDE se desarrollo un macros para Microsoft Office Excel en el cual se implementaron tablas dinámicas donde se almacenaron los datos provenientes de los sensores de temperatura y humedad, con una frecuencia de adquisición para estos datos de 30 datos por minuto (uno cada dos segundos) como se muestra en la Figura 3.3.

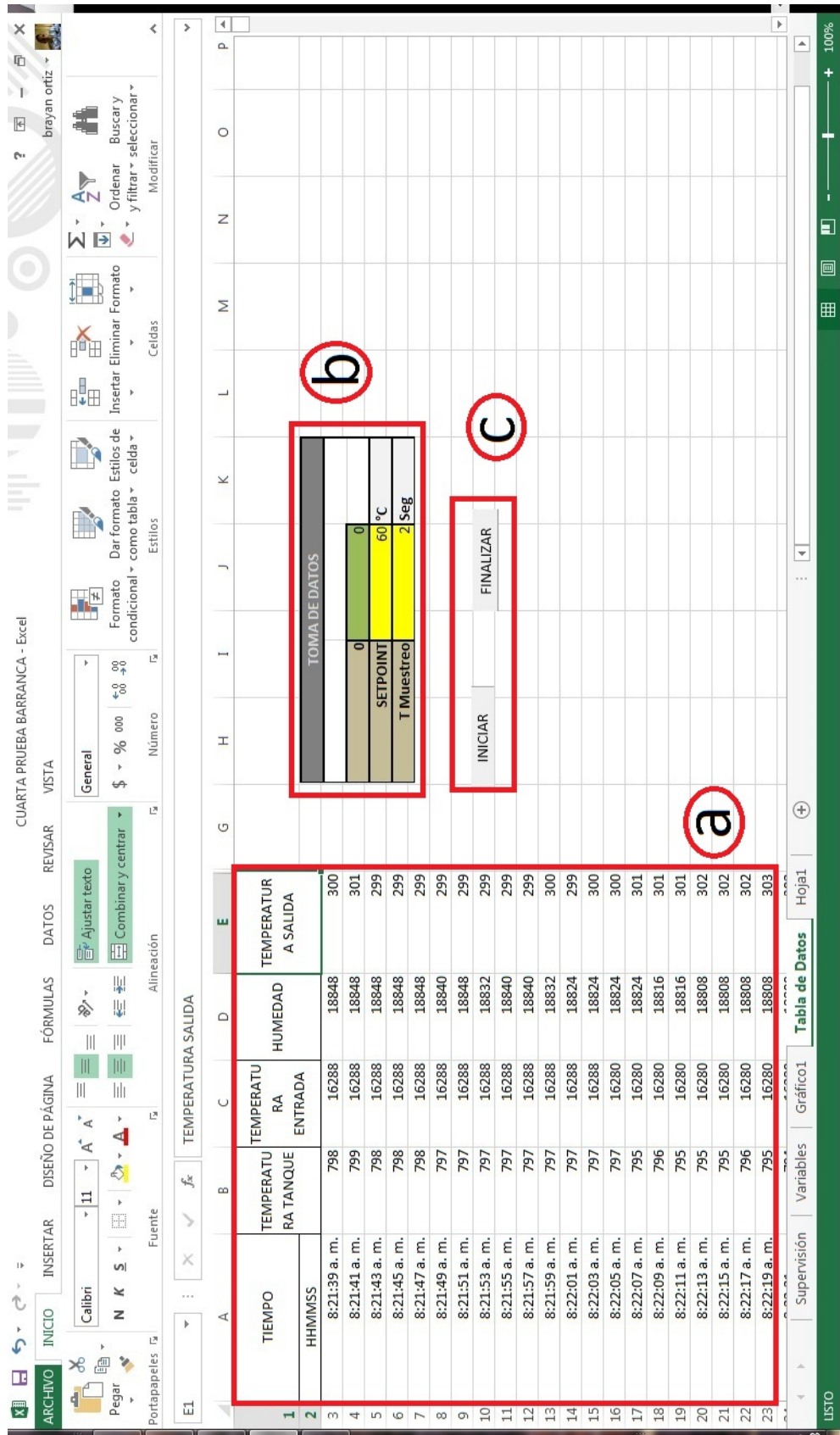


Figura 3.3.: Tablas dinámicas en Excel para la adquisición: a) Datos de las variables. b) Tiempo de muestreo y set point. c) Inicio/fin adquisición de datos.

4. MARCO TEÓRICO

4.1. HUMEDAD

Humedad etimológica mente significa contenido de agua. El aire es una mezcla gaseosa en la que uno de los componentes es el vapor de agua[2].

La cantidad de agua que una masa de aire puede contener no es constante sino variable en función de la temperatura y la presión del aire. En el exterior o in-temperie, el vapor de agua se debe a la evaporación que se produce sobre las extensiones de agua sobre la superficie de la tierra, en la que la humedad de la misma asciende a la superficie por capilaridad[2].

El diagrama del aire húmedo denominado también psicrométrico, siendo en Fran-cia el mas conocido el de Mollier, permite el estudio del la humedad.

4.1.1. Humedad absoluta.

Se define como la cantidad de vapor de agua contenida en un metro cubico de aire, medido en gramos de agua[2].

4.1.2. Humedad relativa.

Es la razón entre la cantidad de vapor existente y la humedad de saturación, es decir:

$$hr = \frac{humedad_{absoluta}}{humedad_{saturacion}} * 100 \quad (4.1)$$

También puede relacionarse de forma que:

$$hr = \frac{m_r}{m_s} * 100 \quad (4.2)$$

Siendo:

- * m_r = masa en gramos de agua realmente contenida en un kilogramo de aire seco.
- * m_s = masa máxima en gramos de agua que se puede encontrar en un kilogramo de aire seco para la temperatura considerada.

4.1.3. Humedad de saturación.

Es la cantidad máxima de gramos de vapor de agua que puede contener un metro cubico de aire, a una temperatura dada. En el cuadro 4.1 se indica la humedad de saturación del aire para diferentes temperaturas:

Temp. C	H.S. g/m3	Temp. C	H.S. g/m3
-5	3.3	21	18.2
0	4.8	22	19.3
5	6.8	23	20.5
10	9.4	24	21.6
11	10	25	22.9
12	10.6	26	24.2
13	11.3	27	25.6
14	12	28	27
15	12.8	29	28.5
16	13.6	30	30.1
17	14.4	40	48.8
18	15.3	50	94.2
19	16.2	55	116.7
20	17.2	60	157.3

Cuadro 4.1.: Temperaturas de saturación

4.2. HUMIDIFICACIÓN

La humidificación es el proceso mediante el cual se aumenta la humedad específica y la cantidad de calor del aire. El proceso de evaporación puede acelerarse utilizando energía o calor o haciendo que el aire pase por grandes superficies de agua. Se puede incrementar la superficie de agua expuesta al aire extendiéndola sobre almohadillas o pulverizándola[3].

La humidificación del aire se da de forma natural en las zonas cercanas al mar, a ríos y a lagos y de forma más efectiva en cascadas y saltos de agua. Las formas más primitivas de incrementar la humedad en nuestros entornos estaban basadas en la imitación de la naturaleza. Instalando estanques, fuentes, canales con saltos de agua, etc[4].

Los primeros humidificadores fueron sencillamente bandejas o cuencos, en los que se ponía agua que al evaporarse evitaba niveles bajos de humedad. Para aumentar el rendimiento de estos primeros humidificadores se incluyeron aletas fabricadas con materiales porosos que con su base en contacto con el agua de la bandeja, se humedecían por completo por el fenómeno de capilaridad[4].

Posteriormente se incrementó la capacidad de humidificación usando un ventilador para impulsar el aire a través de un material absorbente humedecido. Finalmente, el desarrollo de la regulación automática permitió sistemas de funcionamiento autónomo que obtienen y mantienen un valor prefijado de humedad relativa[4].

4.3. SISTEMAS DE HUMIDIFICACIÓN

Los humidificadores pueden clasificarse según su principio de funcionamiento y según su forma de impulsión[5].

Según el principio de funcionamiento tenemos:

- * Humidificadores de bandeja con serpentín de calentamiento.
- * Humidificadores de vapor.
- * Humidificadores de pulverización (spray).

- * Humidificadores de filtro húmedo.
- * Humidificadores de evaporación[5]

Según el modo de impulsión del aire tenemos:

- * Humidificadores con emisión directa al ambiente a ser tratado.

Humidificadores con emisión a red de conductos de distribución de aire[5].

4.3.1. Humidificadores de bandeja con serpentín de calentamiento.

Están constituidos por una bandeja llena de agua provista de resistencias eléctricas o de un serpentín de vapor para su evaporación y de un dispositivo de flotador que controla el nivel reintegrando el agua evaporada[6].

4.3.2. Humidificadores de vapor.

Según Almiñana [7], el humidificador de vapor es un equipo donde se produce la humidificación del aire por un proceso de contacto directo entre el aire y el vapor de agua. Es la forma más higiénica de añadir humedad al aire y consiste en inyectar vapor de agua a temperatura superior a 100 °C, temperatura a la cual los microorganismos del agua se vuelven inactivos y se evita la contaminación bacteriana del aire. El humidificador de vapor puede tratarse como una mezcla de dos gases: aire no saturado y vapor de agua.

Algunas ventajas de los humidificadores de vapor:

- * Al calentar el agua hasta convertirla en vapor se destruye la carga bacteriana.
- * Permiten un control preciso de la humedad.

Algunas de las desventajas de los humidificadores de vapor:

- * Su coste de operación es alto: requieren mayor energía que el resto de humidificadores[7]

Los humidificadores de vapor no representan riesgo frente a la *Legionella*.

4.3.3. Humidificadores de pulverización o spray.

Este modelo es el mas utilizado en los procesos destinados al acondicionamiento de confort[5].

Consiste en una cámara o cabina de chapa de hierro galvanizado por la cual circula aire que pasa por una fina lluvia de agua pulverizada a contracorriente produciéndose la incorporación de la humedad. El sistema funciona comandado por un humidistato que se ubica en el retorno del aire re circulado y que censa su contenido de humedad. Si es necesario agregar humedad pone en funcionamiento la bomba circuladora que es la que produce la re circulación del agua[5].

Algunas de las ventajas de los humidificadores de pulverización o atomización son:

- * Son sencillos y económicos.
- * Su coste de operación es bajo.
- * La cantidad de aerosoles generada no depende de la humedad relativa del aire ni de la velocidad de impulsión del mismo. De esta manera podemos controlar la cantidad de aerosol generada y conseguir un control preciso de la humedad relativa del aire[4].

Algunas de las desventajas de los humidificadores de pulverización o atomización son:

- * Las cantidades de aerosoles que generan son incorporados a la corriente de aire. Dichos aerosoles favorecen la dispersión de los contaminantes existentes en el agua (minerales, contaminación biológica, etc.) y al ser emitidos pueden ser inhalados por la población expuesta.
- * La bandeja de agua, si no es convenientemente tratada, puede crear entornos muy adecuados para el desarrollo de bacterias en general y concretamente de *Legionella*[4].

4.3.4. Humidificadores de filtro húmedo.

En este tipo de humidificador el procedimiento consiste en hacer circular el aire a través de un filtro metálico embebido en agua. De esa manera el aire adquiere la humedad necesaria. Los separadores de gota se montan a continuación de las

cámaras de pulverización a fin de evitar que entre agua mezclada con aire en el sistema de conductos[5].

4.3.5. Humidificadores de evaporación.

El agua en fase líquida toma la energía necesaria para vaporizarse del propio aire que se humidifica (y enfría) por lo que se denomina humidificación adiabática o a energía constante (aunque no es un proceso realmente adiabático). Este es el proceso de humidificación que ocurre de forma natural sobre la superficie de los mares, ríos y lagos[4].

En los humidificadores de evaporación modernos se hace pasar el agua y el aire en flujos cruzados por un panel de gran superficie interior donde el contacto aire-agua es de larga duración y el proceso de evaporación es máximo[4].

Algunas de las ventajas de los humidificadores de evaporación:

- * Son sencillos y económicos.
- * Su coste de operación es bajo: requieren muy poca energía.
- * En condiciones normales no generan aerosoles. El aire pasa a través del material absorbente humedecido y modifica su humedad relativa sin arrastre de agua en fase líquida[4].

Algunas de las desventajas de los humidificadores de evaporación:

- * No permiten un control preciso de la humedad.
- * Los materiales absorbentes pueden favorecer la formación de hongos, algas y bacterias, nocivas para la salud.
- * La bandeja de agua, si no es convenientemente tratada, puede crear entornos muy adecuados para el desarrollo de bacterias en general y concretamente de *Legionella*[4].

4.3.6. Humidificadores con emisión directa al ambiente tratado.

Son los de menor tamaño, suelen tener capacidad de humectar una única dependencia. Algunas de sus características son:

- * Pequeño volumen de agua almacenada.

- * No tienen, en general, sistema automático de aporte de agua, sino que el usuario rellena el pequeño depósito de agua cuando se vacía
- * El aire humedecido es emitido directamente al ambiente que se desea humedecer. En el caso de los humidificadores de pulverización se realiza una emisión directa de aerosoles a las zonas ocupadas.

Estos humidificadores, y en particular los de atomización con emisión directa a la atmósfera, no permiten la utilización de separadores de gotas, pues su principio de funcionamiento se basa en emitir agua nebulizada a la atmósfera[4].

4.3.7. Humidificadores con emisión a red de conductos de distribución de aire.

Este tipo de humidificadores es utilizado en instalaciones de mayor tamaño, que disponen de una red de distribución de conductos que reparte el caudal de aire tratado en diferentes zonas o estancias. Requieren, a diferencia de los anteriores, de instalación y puesta en marcha[4].

Según el Ministerio de Sanidad, Servicios Sociales e Igualdad del gobierno de España [4], una de las ventajas desde el punto de vista de prevención de *Legionella*, de éstas instalaciones, es que los posibles aerosoles emitidos por el humidificador, al recorrer los conductos van evaporándose. De esta manera, la red de conductos reduce o elimina los niveles de gotas emitidos a las zonas tratadas. Por otro lado, estos equipos pueden disponer de separadores de gotas, reduciendo aún más el riesgo de que los aerosoles lleguen a las zonas tratadas.

Este tipo de equipos puede sofisticarse y hacerse de tamaño industrial convirtiéndose en Centrales Humificadoras Industriales[4].

4.4. CONTROL DE LA HUMEDAD

Se necesitan controles y sistemas de control, ya que, en la actualidad con el uso de nueva tecnología, se busca diseñar áreas de confort que generen condiciones ambientales en lugares destinados al trabajo y el descanso, permitiendo el

desarrollo eficiente de actividades.

Una rutina de control permite a los equipos operar con eficacia y, en ocasiones ofrece la posibilidad de cambiar sus acciones conforme va pasando el tiempo y las condiciones de uso[8].

“Existen dos tipos de control, uno denominado manual y otro automático. El primero toma esta denominación ya que se necesita de un operario para tomar las decisiones a efectuar, mientras que un control automático es simplemente un dispositivo que imita las acciones llevadas a cabo por el operario durante el control manual. Utilizamos controles automáticos para sistemas de climatización en lugar de controles manuales, tal y como podemos utilizar el control de crucero para controlar la velocidad de nuestro auto. Los controles automáticos eliminan la necesidad de un control humano constante de un proceso, y por lo tanto reduce los costos de mano de obra y proporciona un rendimiento mas consistente y con mejor frecuencia”[8].

Otra capacidad que deben tener los sistemas de control es el eficiente manejo de la energía, esto debe hacerse sin afectar las funciones esenciales del proceso[8].

4.4.1. Términos clave.

A continuación se dan a conocer algunos términos fundamentales utilizados en los sistemas de control y para nuestro caso en el control de humedad:

- * Variable controlada: Hace referencia a la propiedad que se va a controlar, por ejemplo la temperatura, humedad, velocidad, nivel.
- * Punto de control: Hace referencia a la condición actual o valor de la variable controlada.
- * Set point: Hace referencia a la condición deseada o el valor deseado de la variable controlada.
- * Sensor: Es el dispositivo que detecta la condición o el valor de la variable controlada.
- * Dispositivo controlado: Es el encargado de realizar una variación a la salida del proceso, tal como una válvula, el amortiguador o el variador de frecuencia de un motor.

- * Planta de proceso: Es el equipo utilizado para cambiar el valor de la variable controlada, tal como una bobina de calentamiento o de enfriamiento o un ventilador.
- * Controlador: Es el dispositivo que compara la entrada del sensor con el Set point, determina una respuesta para la acción correctiva, y luego envía esta señal al dispositivo controlado.
- * Bucle cerrado: Es un bucle de control, donde el sensor mide el valor de la variable controlada, proporcionando retroalimentación al controlador.
- * Bucle abierto: Es un bucle de control donde el sensor esta midiendo la variable controlada y los cambios en el dispositivo controlado y el proceso planta no tienen un impacto directo sobre la variable controlada[8].

4.4.2. Modos de control.

El tipo de acción que el controlador toma se llama el modo de control o lógica de control, de los cuales hay tres tipos básicos:

- * Control de dos posiciones: hace referencia a un control tipo on/off.
- * Control flotante (floating control): hace referencia a un control tipo on/off combinado con un control tipo PID.
- * Control modulante (o proporcional): no se limita a dos posiciones de control, permitiendo controlar sistemas multi etapas.[8].

4.4.3. Control.

El control de la humedad, aunque con ciertas limitaciones, se puede lograr mediante el control de la derivación de aire, ventiladores de velocidad variable y recalentando los sistemas desecantes basados incluyendo los sistemas híbridos que son utilizados para disminuir la humedad del sistema[9].

Existen dos defectos importantes asociados al control de la humedad en sistemas de aire acondicionado. En primer lugar, en climas cálidos y húmedos siempre se tendrá una deshumidificación insuficiente. En segundo lugar, durante el periodo de desconexión del sistema, el ventilador sigue funcionando lo que hace que la humedad interior aumente[10].

Cuando algoritmo de control de humedad requiere un aumento de esta, en la practica, la reacción común para el aumento de humedad es reducir la temperatura hasta el punto de rocío y luego re-acondicionar el aire después de pasar por el serpentín de refrigeración a la temperatura adecuada, lo que resulta en una gran cantidad de derroche de energía[11].

5. MATERIALES Y RESULTADOS DE LA CARACTERIZACIÓN DEL PROTOTIPO.

5.1. Materiales Emulador de Clima.

El emulador de clima tiene como función principal generar unas condiciones estables de flujo dentro de los ductos que lo conforman a una temperatura determinada, según sea requerido por el operario del equipo.

Se encuentra compuesto en primer lugar por 10 secciones de ductos para aire acondicionado construidos en lamina de acero galvanizado con un espesor de pared de 0.9 mm (se escogió este material ya que este acero se caracteriza principalmente por su recubrimiento de zinc; el zinc es mas activo que el hierro y brinda una mayor protección a la corrosión). Y en segundo lugar por un Fan Coil con 3 velocidades de operación, el cual basa su principio de funcionamiento en un intercambiador calor/frío, según se haga pasar agua caliente o fría por su tubería interna[12].

Las tres velocidades de operación del Fan Coil son reguladas desde el tablero de control por medio de relés, los cuales poseen un seguro eléctrico por medio del cual se garantiza que el motor solo pueda entrar en funcionamiento con una sola velocidad seleccionada y así evitar el daño de este.

Los ductos empleados en este proyecto para la creación del emulador de clima fueron diseñados teniendo en cuenta los siguientes factores:

- * Perdidas debidas a la Fricción.
- * Máxima velocidad dentro del ducto.
- * Vibraciones[3].
- * Normas UNE 100030 y UNE-EN 12097.

Esta tarea fue realizada por la empresa Proyectos y Servicios la cual cuenta con amplia experiencia en el mercado para el diseño y fabricación de estos elementos. Las 10 secciones se especifican a continuación:

Se tiene 4 secciones en forma de codo a 90 grados de las cuales la primera se encuentra a la salida del Fan Coil y posee las dimensiones que se muestran en la Figura 5.1:

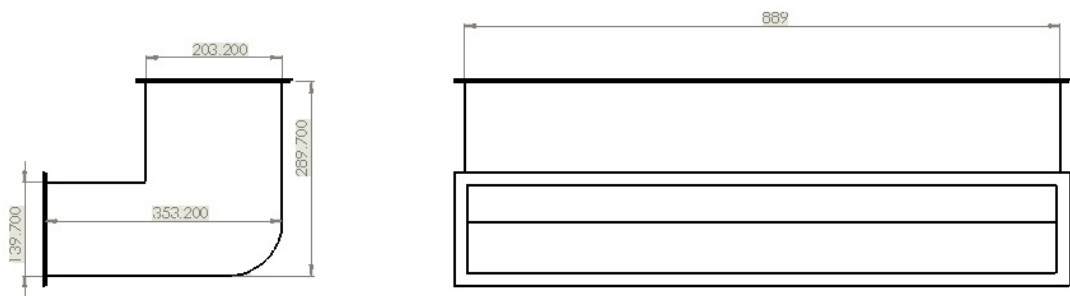


Figura 5.1.: Primera Sección Codos

La segunda sección se encuentra en la parte mas alta del emulador es la encargada de dar el primer cambio de dirección para la búsqueda de retorno al Fan Coil, sus dimensiones se especifican en la Figura 5.2:

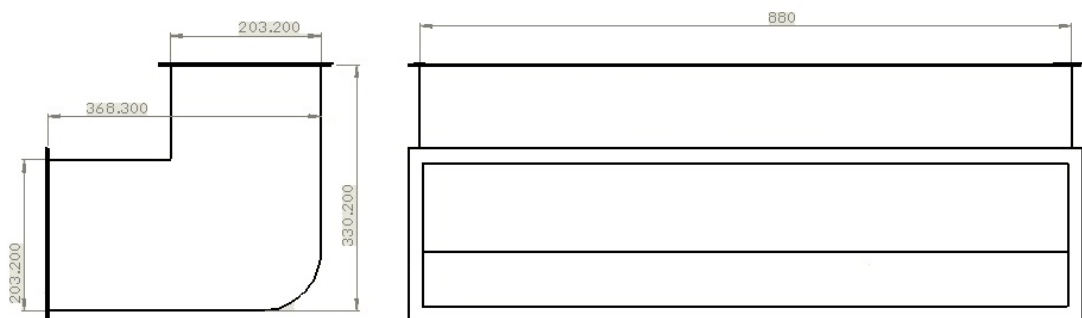


Figura 5.2.: Segunda Sección Codos

La tercera está encargada de generar un cambio en la sección transversal del emulador y dar el segundo cambio de dirección, sus dimensiones se especifican

en la Figura 5.3:

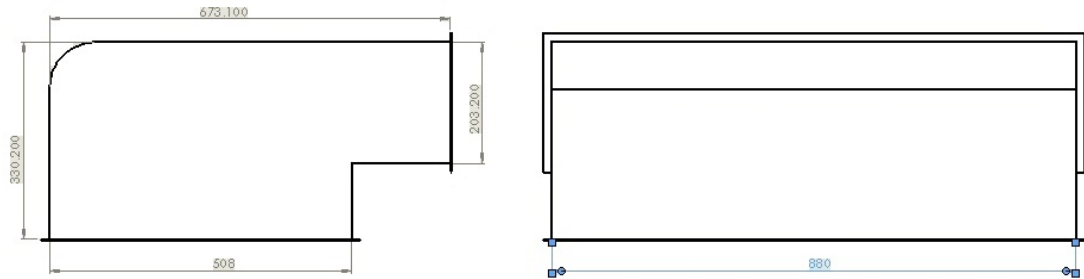


Figura 5.3.: Tercera Sección Codos

Y por ultimo la cuarta sección es la encargada de conectar los ductos con la entrada donde se produce el retorno de aire al Fan Coil, sus dimensiones se especifican en la Figura 5.4:

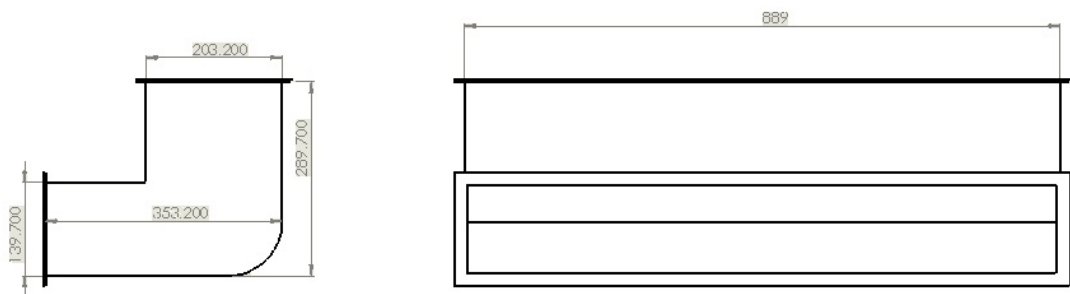


Figura 5.4.: Cuarta Sección Codos

También se cuenta con 5 secciones encargadas de dar la longitud suficiente al emulador para permitir que el flujo de aire logre desarrollarse a sus valores deseados, sus dimensiones se especifican en las Figuras 5.5 y 5.6:

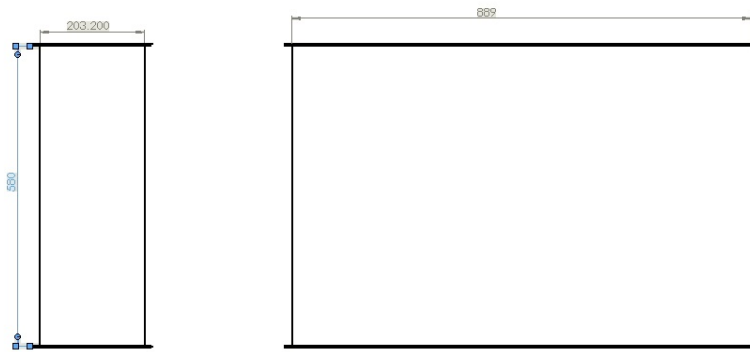


Figura 5.5.: Sección de extensión 1

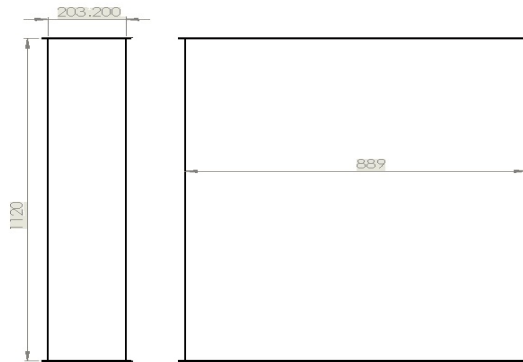


Figura 5.6.: Sección de exención 2

Por ultimo se tiene una sección encargada de dar la reducción necesaria para acoplar perfectamente el emulador con la sección acodada conectada con la entrada de retorno del Fan Coil, sus dimensiones se especifican en la Figura 5.7:

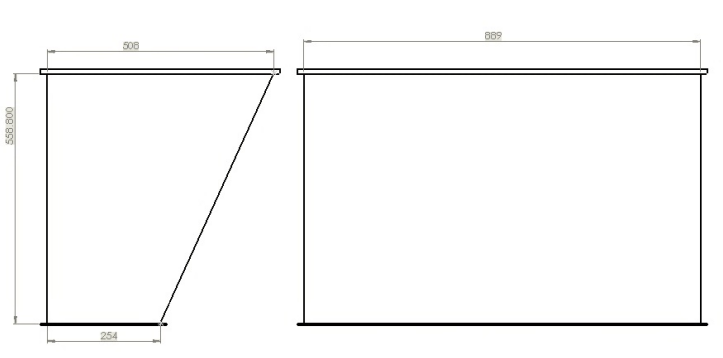


Figura 5.7.: Sección de reducción

5.1.1. Ensamble Emulador de Clima.

En esta etapa se procedió a ensamblar cada una de las secciones anteriormente nombradas y el Fan Coil con el fin de obtener la forma final del emulador como se muestra en la Figura 5.8. Este procedimiento tubo una duración de 1 semana representada en 105 horas hombre de trabajo.

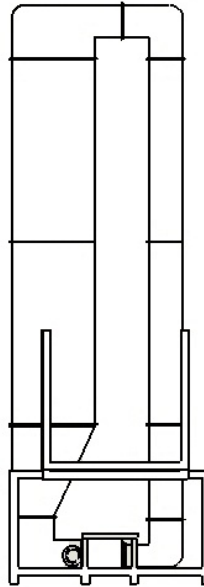


Figura 5.8.: Emulador de clima

Para la unión de las secciones se utilizaron tornillos autoperforantes, estos tornillos están normalizados con distintas formas de cabeza (Tornillos cilíndricos, tornillos de gota de sebo y tornillos avellanados), con ranura simple o en cruz según la norma: (DIN 7971-73 para ranura simple, DIN 7981-83 para ranura en cruz[13].)

Para nuestro caso se seleccionaron con cabeza exagonal de referencia 5/16 de pulgada, los cuales fueron recomendados por la empresa Proyectos y Servicios quien fue la encargada del diseño y construcción de los ductos.

Por ultimo cabe resaltar que el empalme entre los ductos de aire acondicionado y el Fan Coil utilizados en la construcción del emulador de clima se hizo por medio de una lona sintética termo resistente la cual busca no generar cargas y esfuerzos residuales en la estructura del Fan Coil.

5.2. Sistema Humidificador.

Esta compuesto en primer lugar por un recipiente fabricado en aluminio el cual tiene como propósito acondicionar el fluido de trabajo utilizado en el proceso de humidificación a niveles óptimos de temperatura.

En segundo lugar por una boquilla de aspersion la cual está encargada de pulverizar el agua dentro del ducto de mezclado generando una nube de aspersion y facilitando la homogeneización e incorporación de dicho fluido en el aire de secado que circula dentro del ducto.

Por ultimo el recipiente cuenta con toda la parte de instrumentación conformada por un sensor de temperatura tipo RTD, un sensor de nivel tipo elettrosonda modelo Q3-M, una resistencia eléctrica de 1000 vatios y 3 electro válvulas.

El sensor de nivel tipo Elettrosonda basa su principio de funcionamiento sobre la relevación por parte de la centralita de la resistencia del liquido, cuyo nivel es controlado por unas sondas expresamente puestas en el mismo, de las cuales la mas larga funciona como común. Cuando el nivel en el interior del recipiente moja las tres sondas inmersas, se efectúa la activación del relé que es desactivado solamente cuando el nivel bajando descubre la sonda mas baja.

Dicha instrumentación es la encargada de regular el nivel de agua dentro del recipiente y de la temperatura de este, por medio de los lazos de control previamente establecidos y mostrados en la Figura 5.9:

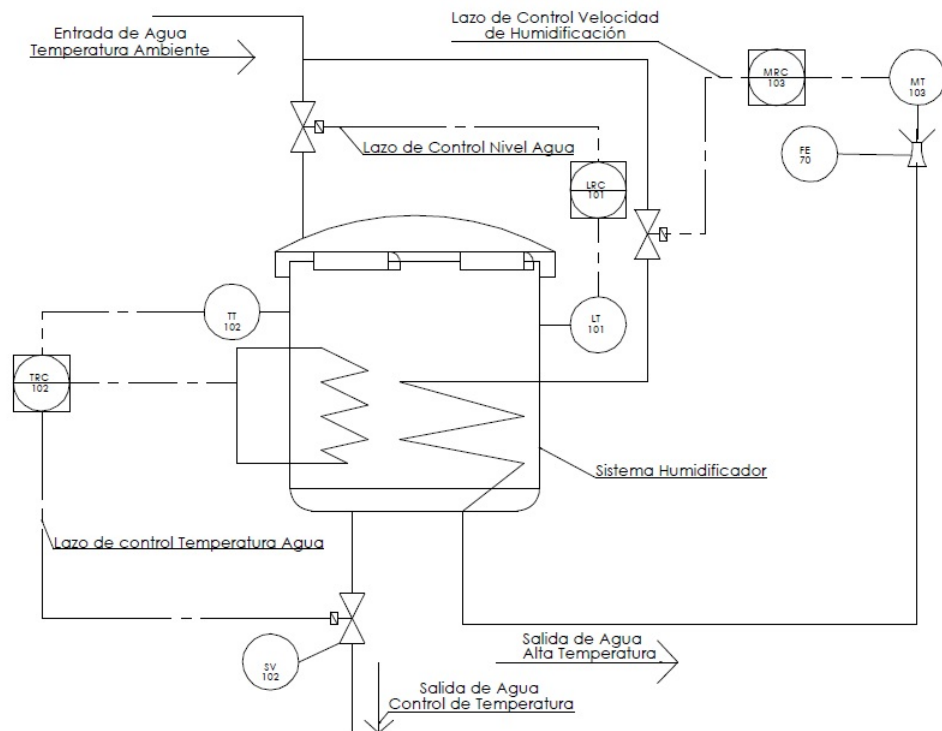


Figura 5.9.: Esquema instrumentación recipiente

Se selecciono aluminio como material de fabricación para el recipiente debido a sus características como lo son: Alta proporción de resistencia a peso, resistencia a la corrosión y sus propiedades de manufactura[14].

Las tuberías de alimentación y descarga del sistema humidificador fueron construidas en cloruro de polivinilo (PVC) ya que este material se caracteriza por sus altas propiedades aislantes térmicas y eléctricas[15].

La tubería conectada a la boquilla de aspersión esta fabricada de cobre ya que este material permite una mayor transferencia de calor entre el fluido contenido en el recipiente y el fluido que circula por esta tubería, cabe resaltar que se dispuso esta configuración tipo intercambiador de calor en el sistema humidificador realizando modificaciones al sistema presentado en principio ya que se presentaron ciertas dificultades para conseguir la electro bomba con la cual se pretendía alcanzar la presión necesaria para inyectar el fluido en el sistema emulador, y por dicha razón esta tubería de cobre se encuentra conectada directamente a la red de agua con la que dispone el edificio I del campus universitario.

5.3. Caracterización.

En esta sección se consignan las actividades desarrolladas durante las pruebas experimentales con las cuales se obtuvo las curvas características de comportamiento para las variables humedad y temperatura. El sistema emulador de clima cuenta con un Fan Coil el cual tiene tres velocidades de operación para los ventiladores.

Para cada una de estas velocidades del Fan Coil se realizaron las pruebas experimentales con el fin de observar el comportamiento de la humedad con respecto a un aumento de temperatura, teniendo como límite superior 60 °C ya que esta es la temperatura máxima a la que se pueden someter algunos de los sensores instalados en el sistema emulador.

Posteriormente a la realización de estas pruebas experimentales se procedió a la caracterización del sistema humidificador tipo spray emulando las condiciones ambientales para la ciudad de Barrancabermeja. Dichas condiciones ambientales se presentan en el cuadro 5.1 tomado de las bases de datos del IDEAM.

Elementos Climáticos	Humedad Relativa (%)	Temp. max (°C)	Temp. media (°C)	Temp. min (°C)
Ene.	74	34.7	28.4	21.9
Feb.	74	35.4	28.7	21.8
Mar.	77	35.3	28.5	21.9
Abr.	81	34.9	27.9	22.0
May.	82	34.5	27.7	21.5
Jun.	82	34.5	27.8	21.9
Jul.	78	35.0	28.0	21.6
Ago.	79	34.8	27.9	21.3
Sep.	82	34.4	27.5	21.2
Oct.	84	33.5	26.9	21.4
Nov.	84	33.4	27.1	21.6
Dic.	80	33.6	27.8	21.9
Promedio Anual.	80	34.5	27.9	21.7

Cuadro 5.1.: Condiciones ambientales Barrancabermeja.

La adquisición de datos se desarrollo a través de un PLC S7 319-3 PN/DP, mediante el cual se implemento una estructura de comunicación para facilitar la lectura de los datos, dicha estructura se presenta en la figura 5.10.

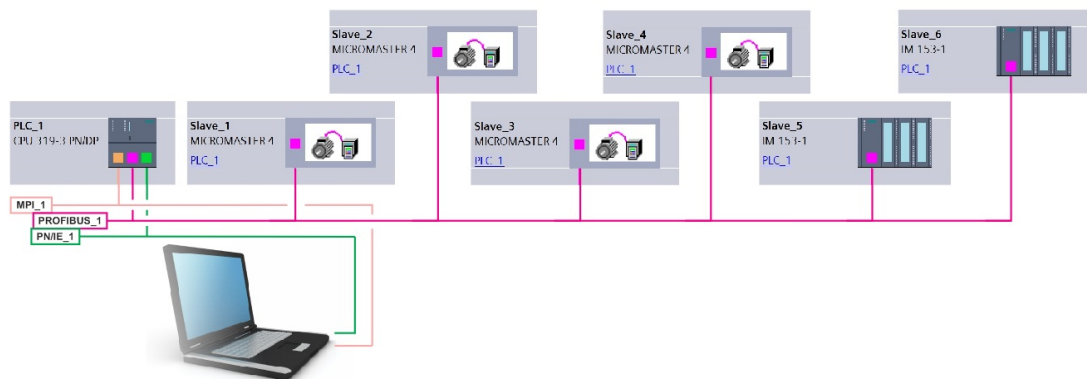


Figura 5.10.: Configuración red Profibus, MPI y Ethernet.

Se observa que mediante la red Profibus se acoplaron cuatro variadores de fre-

cuencia micromaster 4 y dos módulos descentralizados ET 200 M, por medio de la red MPI se realiza la programación del PLC, finalmente por medio de la red PN/IE_1 se estableció la comunicación Ethernet para la adquisición de datos.

5.3.1. Velocidad alta Fan Coil.

Para la velocidad alta del Fan Coil se realizaron las pruebas calentando el aire hasta 60 °C de temperatura a la salida del ducto de mezclado, por medio de una configuración de encendido para las resistencias eléctricas donde se parte del encendido de una resistencia hasta llegar a tener 3 resistencias, configuración con la cual se alcanza el valor permitido para la temperatura del aire.

El procedimiento seguido para la realización de las pruebas experimentales fue el siguiente:

- * Abrir el proyecto de automatización en el TIA Portal V11 (Software de automatización SIEMENS).
- * Forzar el accionamiento de la velocidad alta para el Fan Coil.
- * Establecer una frecuencia de 53 Hz para el motor trifásico acoplado al ventilador.
- * Ejecutar el servidor DDE.
- * Abrir el macro de Microsoft Office Excel.
- * Iniciar la adquisición de datos.
- * Dar inicio al calentamiento del aire por medio de la primera configuración (una resistencia).
- * Esperar a que se logre un equilibrio relativo de la temperatura a la salida del ducto mezclador.
- * Al lograr dicho equilibrio accionar la segunda configuración (dos resistencias).
- * Repetir los dos últimos pasos hasta llegar a la temperatura máxima (60 °C).

5.3.1.1. Resultados.

De las pruebas experimentales realizadas se obtuvieron las curvas promedio de comportamiento de la humedad con respecto al aumento de temperatura como

se observa en las Figuras A.1, A.2, A.3 Y A.4 consignadas en los anexos.

Ademas se relacionaron los valores iniciales y finales de la temperatura de entrada y humedad por medio del software PsychTool el cual presenta una carta psicrométrica interactiva que permite realizar gráficas de procesos termodinámicos para aire a condiciones de 1 atmósfera de presión partiendo del conocimiento de dos propiedades diferentes en cada uno de los puntos a tener en cuenta. Dicha gráfica se presenta en Figura A.5 consignadas en los anexos.

También de cada una de las 8 pruebas realizadas para esta velocidad de operación del Fan Coil se establecieron las curvas de valores relativos para temperatura y humedad, los cuales corresponden al comportamiento real del equipo. Dichas gráficas se registran las Figuras A.6 a A.29 consignadas en los anexos.

5.3.2. Velocidad media Fan Coil.

Para la velocidad media del Fan Coil se llevo a cabo las pruebas experimentales siguiendo el mismo procedimiento descrito anteriormente para la velocidad alta del Fan Coil.

5.3.2.1. Resultados.

De las pruebas experimentales realizadas se obtuvieron las curvas promedio de comportamiento para la variable humedad con respecto al aumento de temperatura como se observa en las Figuras A.30, A.31, A.32 y A.33 consignadas en los anexos.

Ademas se relacionaron los valores iniciales y finales de la temperatura de entrada y humedad por medio del software PsychTool el cual presenta una carta psicrométrica interactiva que permite realizar gráficas procesos termodinámicos para aire a condiciones de 1 atmósfera de presión partiendo del conocimiento de dos propiedades diferentes en cada uno de los puntos a tener en cuenta. Dicha gráfica se presenta en la Figura A.34 consignadas en los anexos.

Por ultimo cada una de las 8 pruebas realizadas para esta velocidad de operación del Fan Coil se establecieron las curvas de valores relativos para temperatura y humedad, los cuales corresponden al comportamiento real del equipo. Dichas gráficas se registran en las Figuras A.35 a A.58 consignadas en los anexos.

5.3.3. Velocidad baja Fan Coil.

Para la velocidad baja del Fan Coil se llevo a cabo las pruebas experimentales siguiendo el mismo procedimiento descrito anteriormente para la velocidad alta del Fan Coil.

5.3.3.1. Resultados.

De las pruebas experimentales realizadas se obtuvieron las curvas promedio de comportamiento para la variable humedad con respecto al aumento de temperatura como se observa en las Figuras A.59, A.60, A.61 y A.62 consignadas en los anexos.

Ademas se relacionaron los valores iniciales y finales de la temperatura de entrada y humedad por medio del software PsychTool el cual presenta una carta psicrométrica interactiva que permite realizar gráficas procesos termodinámicos para aire a condiciones de 1 atmósfera de presión partiendo del conocimiento de dos propiedades diferentes en cada uno de los puntos a tener en cuenta. Dicha gráfica se presenta en la Figura A.63 consignadas en los anexos.

También de cada una de las 8 pruebas realizadas para esta velocidad de operación del Fan Coil se establecieron las curvas de valores relativos para temperatura y humedad, los cuales corresponden al comportamiento real del equipo. Dichas gráficas se registran en las Figuras A.64 a A.87 consignadas en los anexos.

5.3.4. Caracterización sistema humidificador tipo spray emulando el clima de Barrancabermeja.

Para la emulación de las condiciones ambientales de la ciudad de Barrancabermeja se seleccionaron los valores promedio de temperatura máxima al año la cual es de 34.5 °C y el valor de humedad relativa promedio de 80%. Para lograr estas condiciones se estableció una rutina de automatización en la cual se selecciono la velocidad alta para el Fan Coil y una configuración de dos resistencias con un control on/off para obtener el valor de temperatura, además se probaron 3 frecuencias distintas para el accionamiento del spray las cuales se describen en el cuadro 5.2, de estas frecuencias se escogió la numero 2 ya que por medio de la experimentación se observo que es la que permite un control mas preciso sobre la variable humedad al emular las condiciones anteriormente nombradas.

Frecuencia	Tiempo de accionamiento (s)	Tiempo de espera (s)
Frecuencia 1	1	60
Frecuencia 2	2	60
Frecuencia 3	3	60

Cuadro 5.2.: Frecuencias de atomización.

El procedimiento seguido para la realización de estas pruebas experimentales fue el siguiente:

- * Accionar una configuración de dos resistencias eléctricas para establecer la temperatura de 34.5 °C por medio de un control on/off.
- * Cuando se ha alcanzado dicha temperatura se da inicio a la rutina de atomización para la humidificación.
- * Al lograr las condiciones de temperatura y humedad seleccionadas para la ciudad de Barrancabermeja da inicio al calentamiento de aire manteniendo la frecuencia de atomización.
- * Esperar a que la temperatura de salida logre un equilibrio relativo.
- * Cuando se logre dicho equilibrio, seleccionar la siguiente configuración de resistencias.
- * Repetir los dos últimos pasos hasta que se alcance la temperatura máxima de 60 °C.

5.3.4.1. Resultados.

De las pruebas experimentales realizadas se obtuvieron las curvas promedio de comportamiento para la humedad con respecto al aumento de temperatura manteniendo la frecuencia de atomización, como se observa en las Figuras B.1, B.2, B.3 y B.4 consignadas en los anexos.

Ademas se relacionaron los valores iniciales y finales de la temperatura de entrada y humedad por medio del software PsychTool el cual presenta una carta psicrométrica interactiva que permite realizar gráficas procesos termodinámicos para aire a condiciones de 1 atmósfera de presión partiendo del conocimiento de dos propiedades diferentes en cada uno de los puntos a tener en cuenta. Dicha gráfica se presenta en la Figura B.5 consignadas en los anexos.

También de cada una de las 8 pruebas realizadas con las condiciones ambientales emuladas para la ciudad de Barrancabermeja se establecieron las curvas de valores relativos para temperatura y humedad, los cuales corresponden al comportamiento real del equipo. Dichas gráficas se registran en las Figuras B.6 a B.29 consignadas en los anexos.

5.4. Análisis de resultados.

- * Debe tenerse en cuenta que las pruebas realizadas para el sistema humidificador no pueden ser comparadas con valores teóricos debido a que el prototipo empleado en este proyecto varía con respecto a los sistemas que se encuentran en el mercado.
- * Las curvas promedio de comportamiento para la temperatura a la salida del ducto de mezclado obtenidas de las pruebas realizadas para cada una de las velocidades de operación del Fan Coil permiten visualizar patrón de comportamiento a la hora de alcanzar el equilibrio relativo con cada una de las configuraciones establecidas para las resistencias eléctricas, lo que quiere decir que este comportamiento no depende directamente dicha velocidad.
- * Durante las pruebas realizadas con las diferentes velocidades de operación del Fan Coil también se pudo observar que el único factor afectado es el

tiempo en el cual se logra el equilibrio relativo de la temperatura a la salida del ducto de mezclado para cada una de las configuraciones de resistencias eléctricas seleccionadas.

- * Así mismo en algunas de las pruebas realizadas en la emulación de clima para la ciudad de Barrancabermeja se observó una pequeña dificultad a la hora de alcanzar el valor de humedad relativa deseado, esto se debe a que las condiciones ambientales de la ciudad de Bucaramanga como lo son su alto porcentaje de humedad en horas de la mañana, la variación de temperatura durante el día y el poseer una presión atmosférica distinta a la del clima a emular afectan el comportamiento de las variables a medir.
- * Por otra parte durante la realización de las pruebas experimentales se pudo establecer que la temperatura ideal para el flujo de agua de atomización es de 80 °C ya que con esta temperatura se garantiza una mejor incorporación de la humedad al aire sin ver grandes afectaciones en la temperatura y también garantizando que no se produzca evaporación de agua antes de entrar en el ducto de mezclado.

6. CONCLUSIONES

La ejecución de este proyecto permitió aplicar conocimientos de áreas como procesos de fabricación, automatización y control, termodinámica, transferencia de calor y mediciones mecánicas entre otras, cuyos aspectos teóricos fueron tratados durante el desarrollo de los cursos académicos vistos durante la carrera.

Para la implementación de la rutina de automatización fue necesario reasignar las direcciones profibus de los módulos descentralizados ET 200 M y los variadores de frecuencia dispuestos en el tablero de control, así como la asignación de una dirección IP fija para el PLC S7 319-3 PN/DP dentro de una subred Ethernet configurada para el campus universitario.

La construcción, adaptación e instrumentación del sistema humidificador provee una herramienta de observación para procesos termodinámicos muy importante ya que permite emular diferentes condiciones de temperatura y humedad relativa para aire, que junto con la rutina de automatización y adquisición de datos desarrolladas en la ejecución del proyecto dan la posibilidad de elaborar curvas de comportamiento para estas propiedades termodinámicas.

7. RECOMENDACIONES

La operación del equipo durante las pruebas experimentales, dejó entrever la necesidad de hacer un re diseño del sistema ventilador del ducto de mezclado debido a que presenta algunos problemas de vibración, esto se debe a que el sistema actual ha sido una adaptación realizada sin realizar ningún diseño previo ya que en el proyecto no estaba contemplada esta actividad.

Teniendo en cuenta el data chip del sensor de temperatura y humedad no se debe sobrepasar el valor de 60 °C para el aire que circula dentro del sistema emulador. Si se llega a sobrepasar se pueden generar fallos en el sensor como la descalibración o el deterioro total.

Con las curvas de comportamiento obtenidas durante la realización de este proyecto, se puede diseñar un control PID o un control Difuso para mejorar el comportamiento de la variable humedad durante la emulación de condiciones ambientales.

Por ultimo se recomienda implementar un sistema purificador de agua para la linea de atomización ya que si se va a trabajar el equipo con productos alimenticios el sistema actual no asegura la eliminación de las bacterias presentes en el fluido.

Bibliografía

- [1] Q. Qi and S. Deng, "Multivariable control of indoor air temperature and humidity in a direct expansion (dx) air conditioning (a/c) system," *Building and Environment*, vol. 44, no. 8, pp. 1659 – 1667, 2009. [Online]. Available: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360132308002679> 13
- [2] *Aislamiento térmico*. 24
- [3] E. Hernández, *Fundamentos de aire acondicionado y refrigeración*. Editorial Limusa S.A De C.V., jan 2002. 26, 34
- [4] "Humectadores." [Online]. Available: http://www.msc.es/ciudadanos/saludAmbLaboral/agenBiologicos/pdfs/8_leg.pdf 26, 28, 29, 30
- [5] W. C. Whitman and W. M. Johnson, *Tecnología de la refrigeración y aire acondicionado*. Editorial Paraninfo, jun 2000, vol. 3. 26, 27, 28, 29
- [6] *Acondicionamiento térmico de edificios*. Nobuko. 27
- [7] D. G. Almiñana, *Instalaciones de Refrigeración y Aire Acondicionado*. Editorial UOC, jan 2008. 27
- [8] R. Montgomery and R. McDowall, "Chapter 1 - introduction to hvac control systems," in *Fundamentals of HVAC Control Systems*. Oxford: Elsevier, 2008, pp. 1 – 29. [Online]. Available: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780080552330000017> 31, 32
- [9] N. Subramanyam, M. P. Maiya, and S. S. Murthy, "Application of desiccant wheel to control humidity in air-conditioning systems," *Applied Thermal Engineering*, vol. 24, no. 17?18, pp. 2777–2788, 2004. [Online]. Available: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1359431104001127> 32
- [10] X. Xu, S. Deng, and M. Chan, "A new control algorithm for direct expansion air conditioning systems for improved indoor humidity control and energy efficiency," *Energy Conversion and Management*, vol. 49, no. 4, pp. 578 – 586, 2008. [Online]. Available: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0196890407002749> 32
- [11] K. Zhao, X.-H. Liu, T. Zhang, and Y. Jiang, "Performance of temperature and humidity independent control air-conditioning system in an office

building,” *Energy and Buildings*, vol. 43, no. 8, pp. 1895 – 1903, 2011. [Online]. Available: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378778811001502> 33

[12] J. R. Vilorio, *Prontuario básico de fluidos*. Editorial Paraninfo, oct 2002. 34

[13] W. Hufnagel, *Manual del Aluminio*. Reverte, aug 1992. 38

[14] Kalpakjian, *Manufactura: Ingeniería y Tecnología, 5/ed.*, 5th ed. Pearson Education, 2007. 40

[15] J. P. Rodríguez, *Fotanería: Su aprendizaje*. Editorial Paraninfo, 2001. 40

A. ANEXO: VELOCIDADES FAN COIL

A.1. Velocidad alta Fan Coil.

A.1.1. Temperatura promedio de entrada.

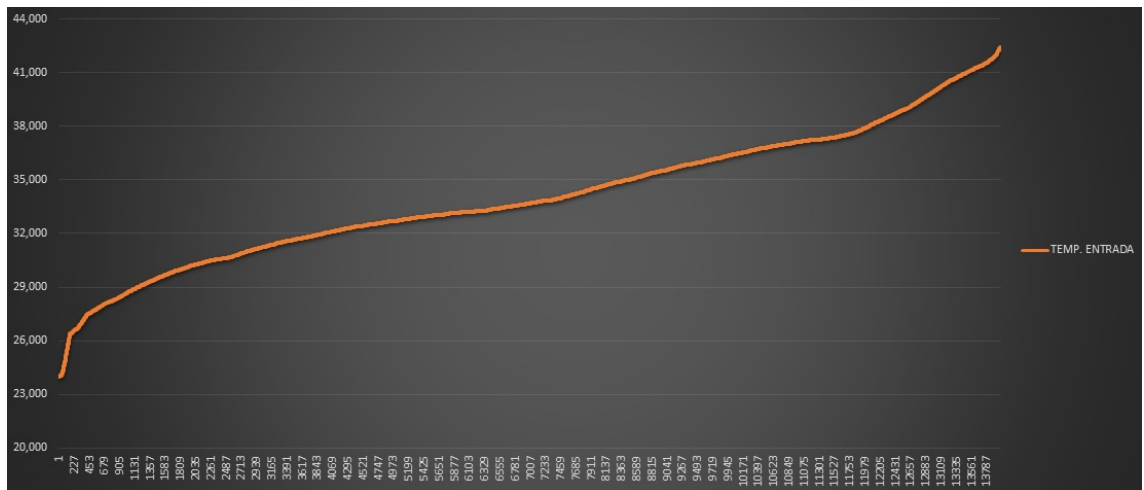


Figura A.1.: Comportamiento promedio temperatura de entrada velocidad alta Fan Coil.

A.1.2. Humedad promedio.

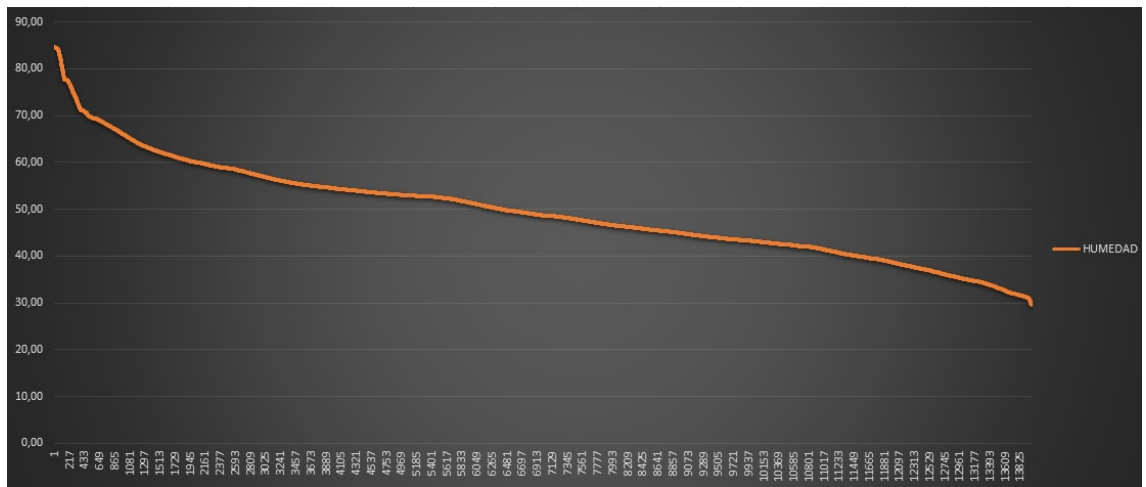


Figura A.2.: Comportamiento promedio humedad velocidad alta Fan Coil.

A.1.3. Temperatura promedio de salida.

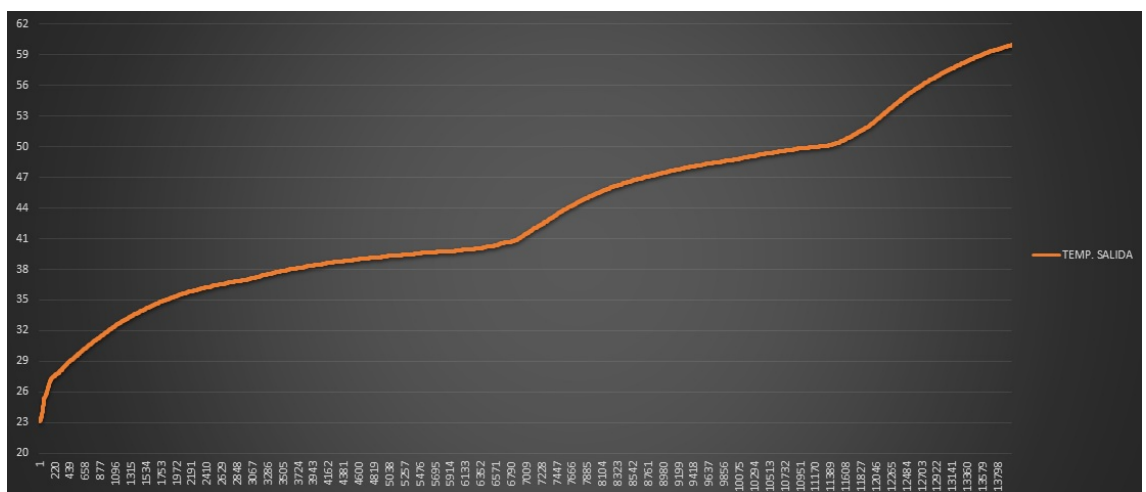


Figura A.3.: Comportamiento promedio temperatura de salida velocidad alta Fan Coil.

A.1.4. Temperatura promedio de entrada, humedad promedio y temperatura promedio de salida.

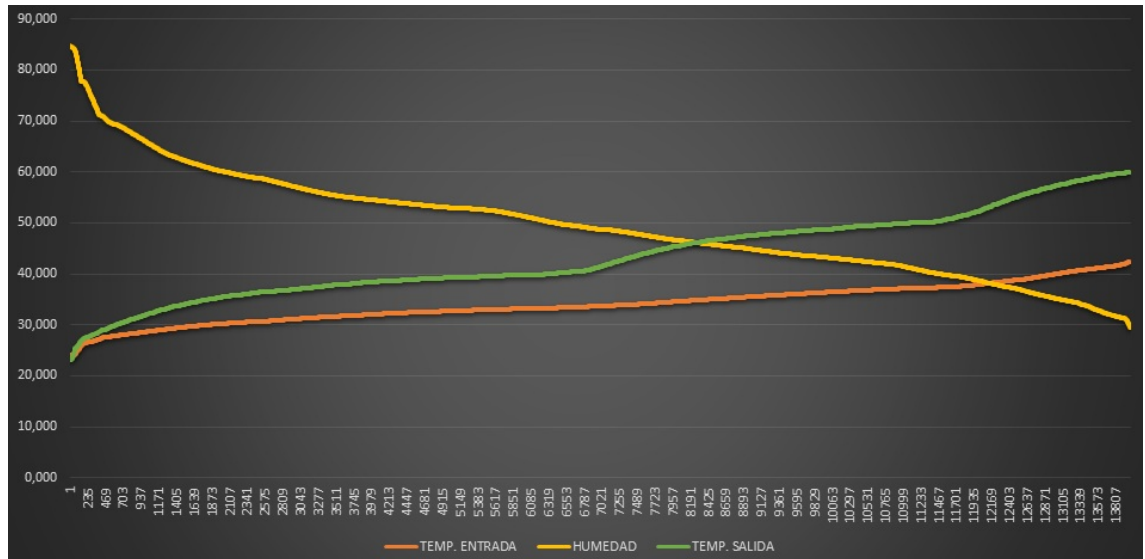


Figura A.4.: Comportamiento promedio temperatura de entrada, humedad y temperatura de salida velocidad alta Fan Coil.

A.1.5. Gráfica Carta Psicrométrica.

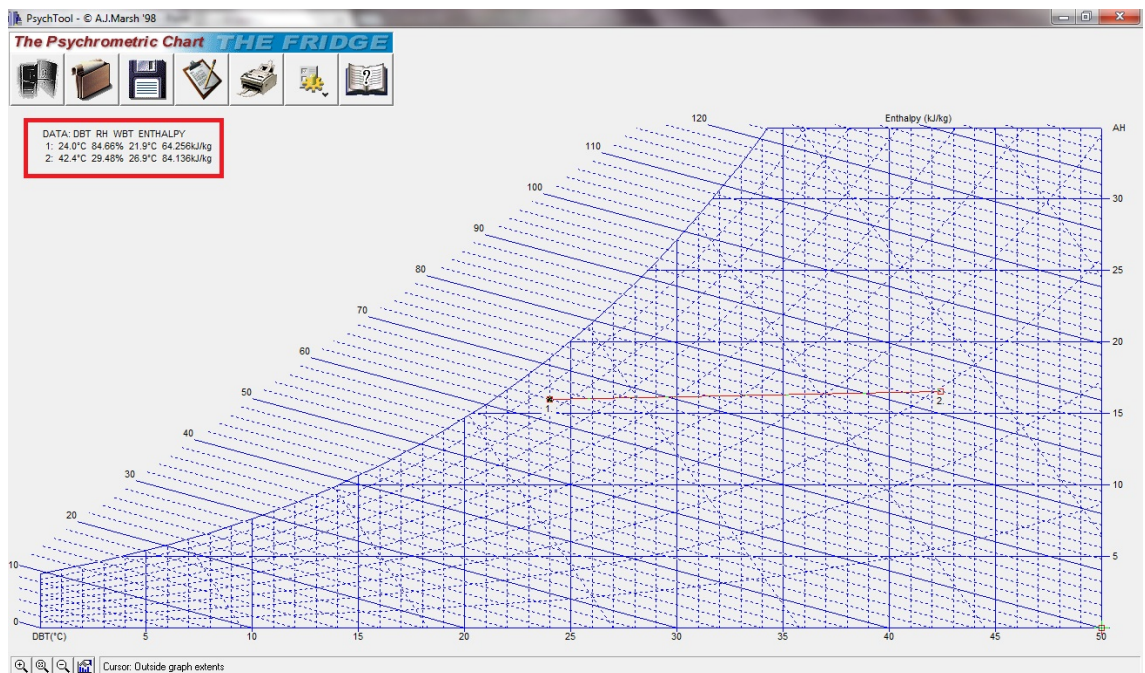


Figura A.5.: Carta psicrométrica velocidad alta Fan Coil.

A.1.6. Valores relativos temperatura y humedad primera prueba.

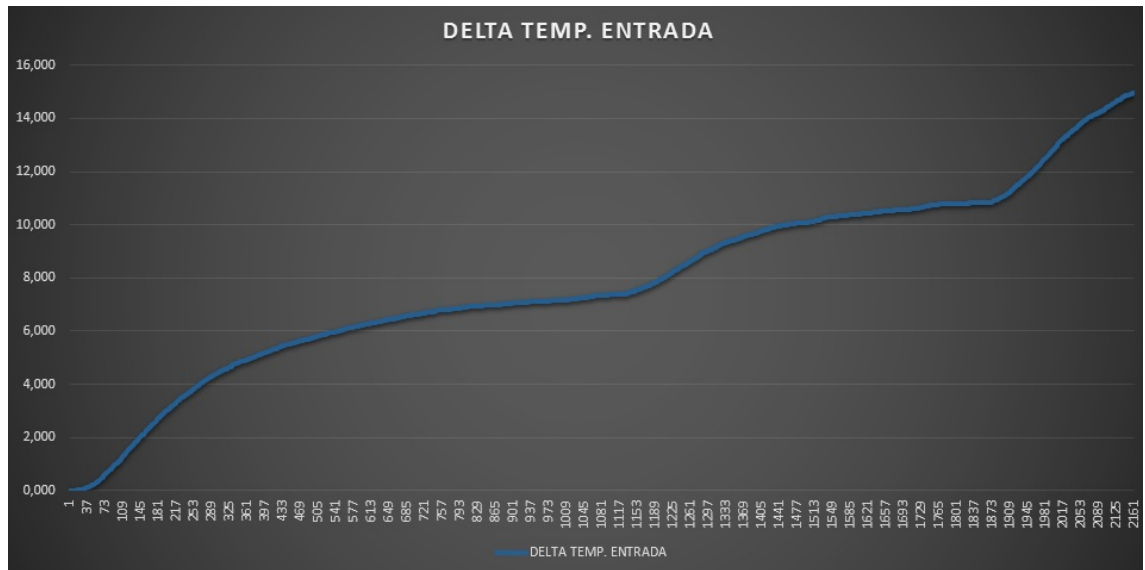


Figura A.6.: Delta temperatura entrada.

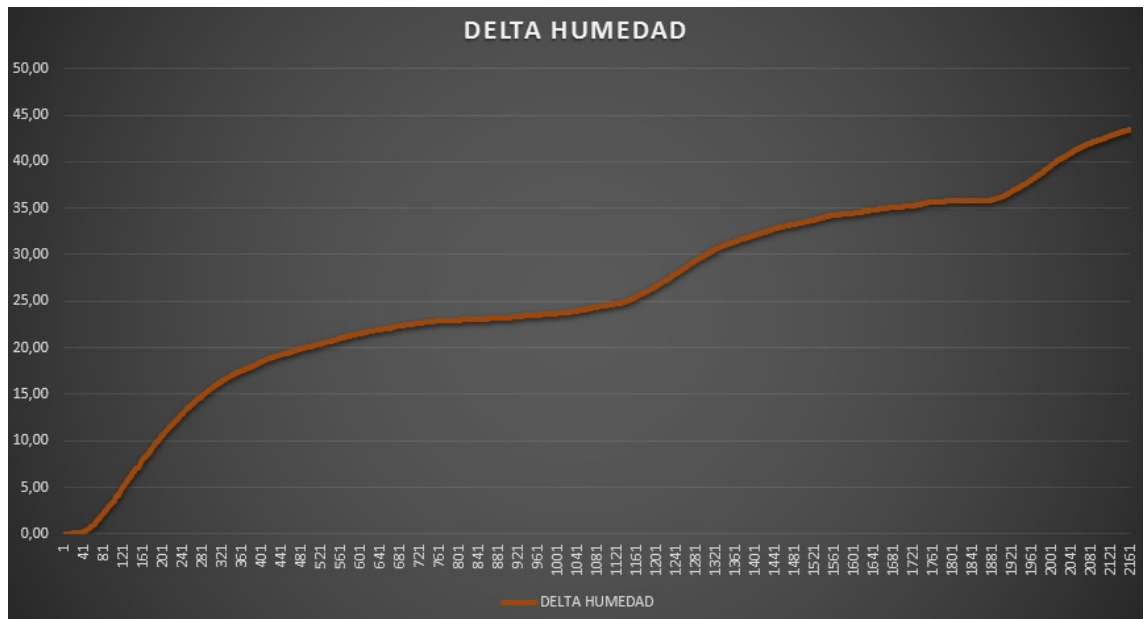


Figura A.7.: Delta humedad.

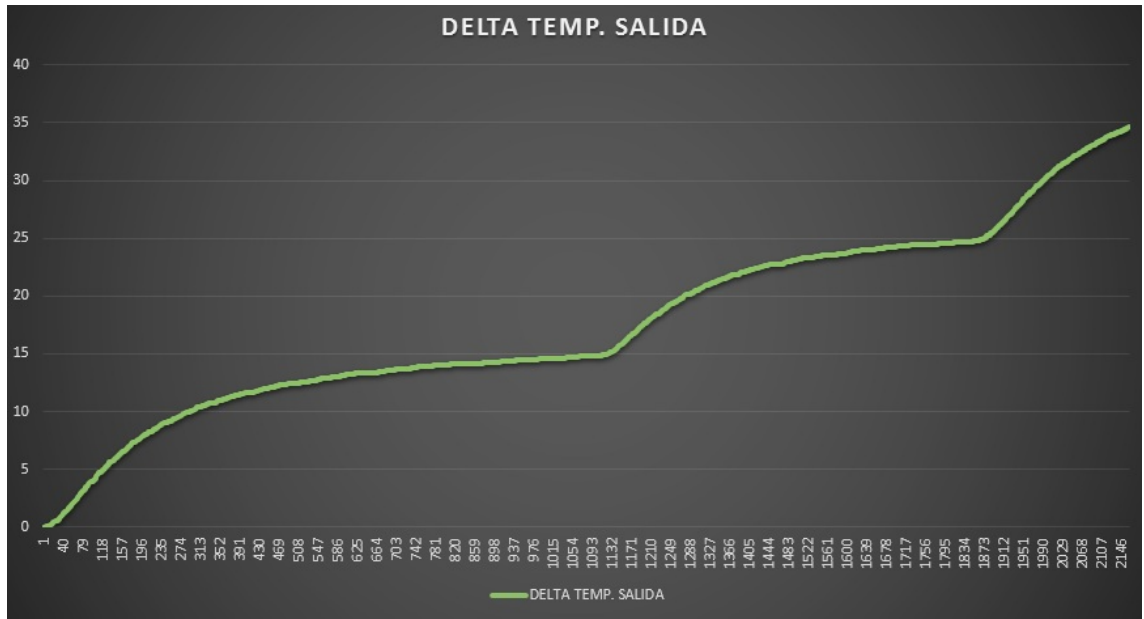


Figura A.8.: Delta temperatura salida.

A.1.7. Valores relativos temperatura y humedad segunda prueba.

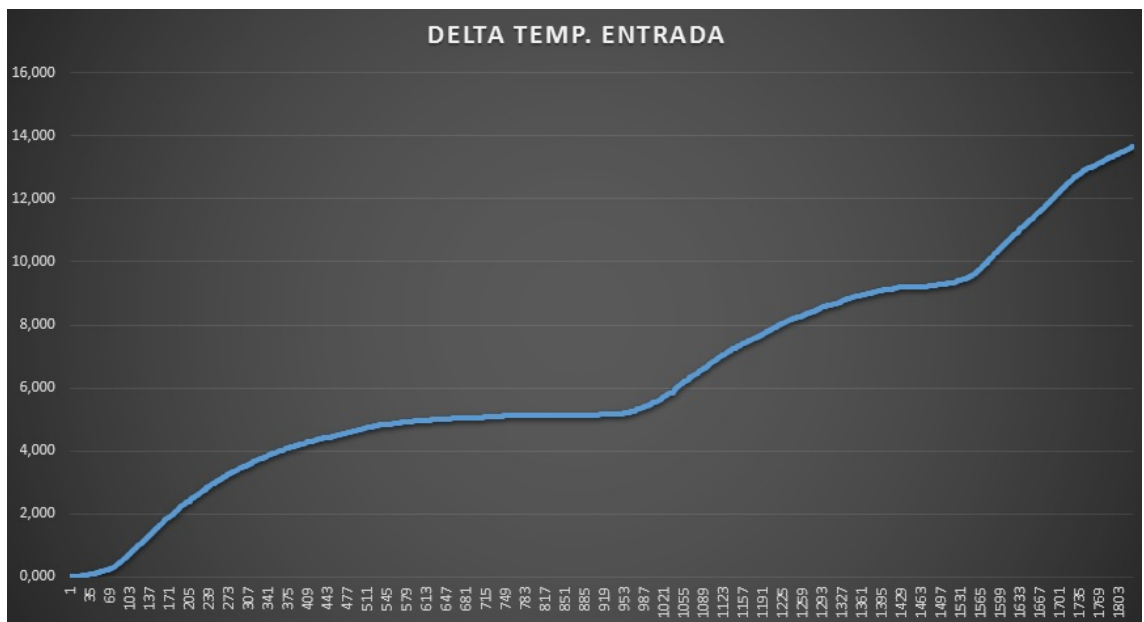


Figura A.9.: Delta temperatura entrada.

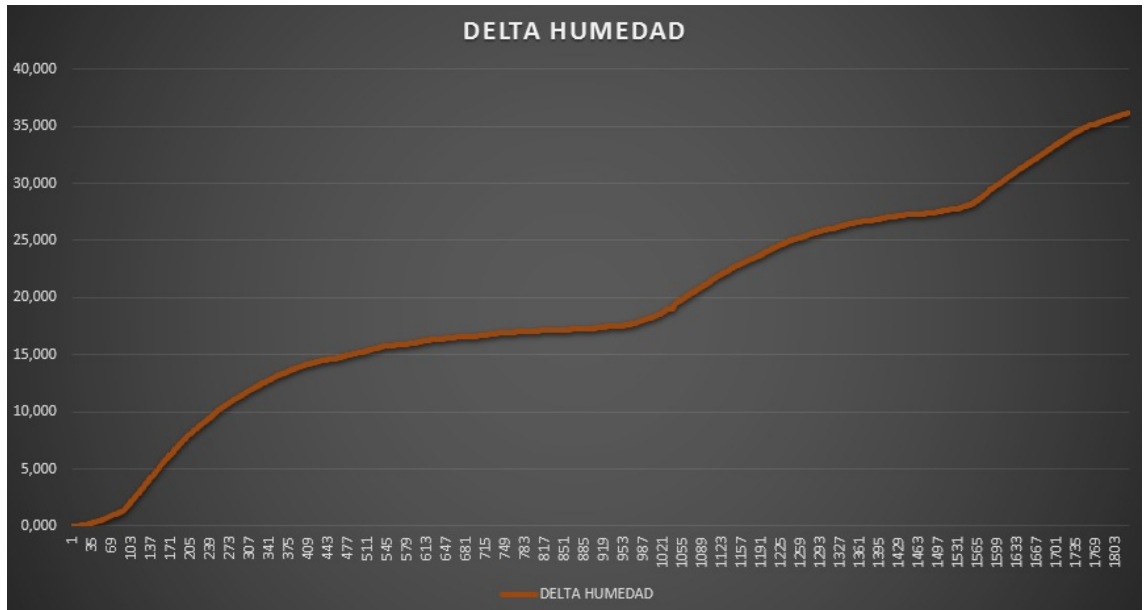


Figura A.10.: Delta humedad.

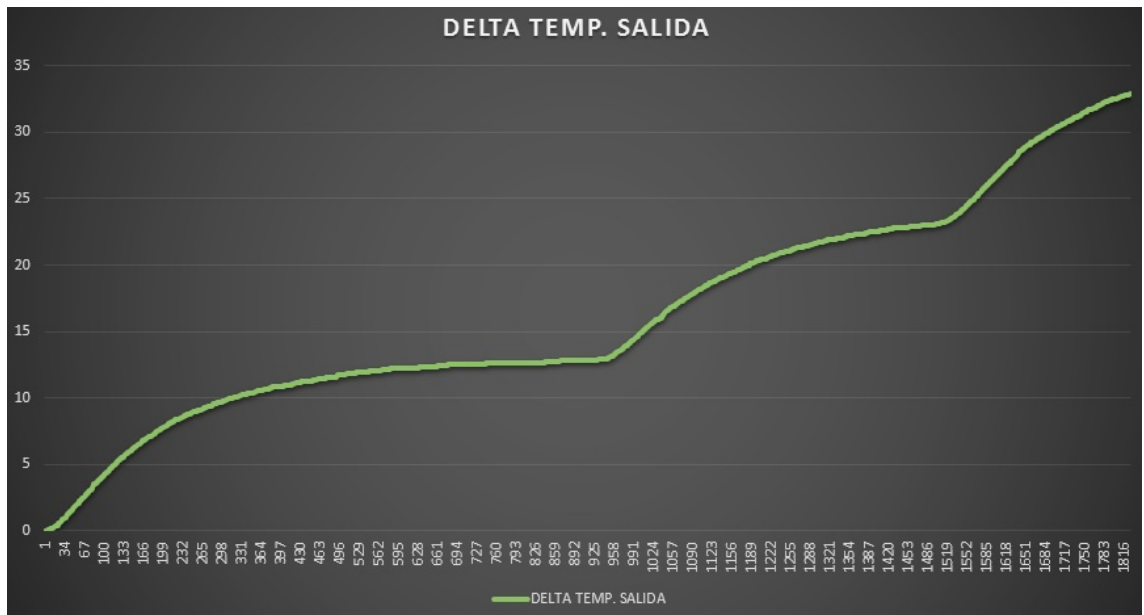


Figura A.11.: Delta temperatura salida.

A.1.8. Valores relativos temperatura y humedad tercera prueba.

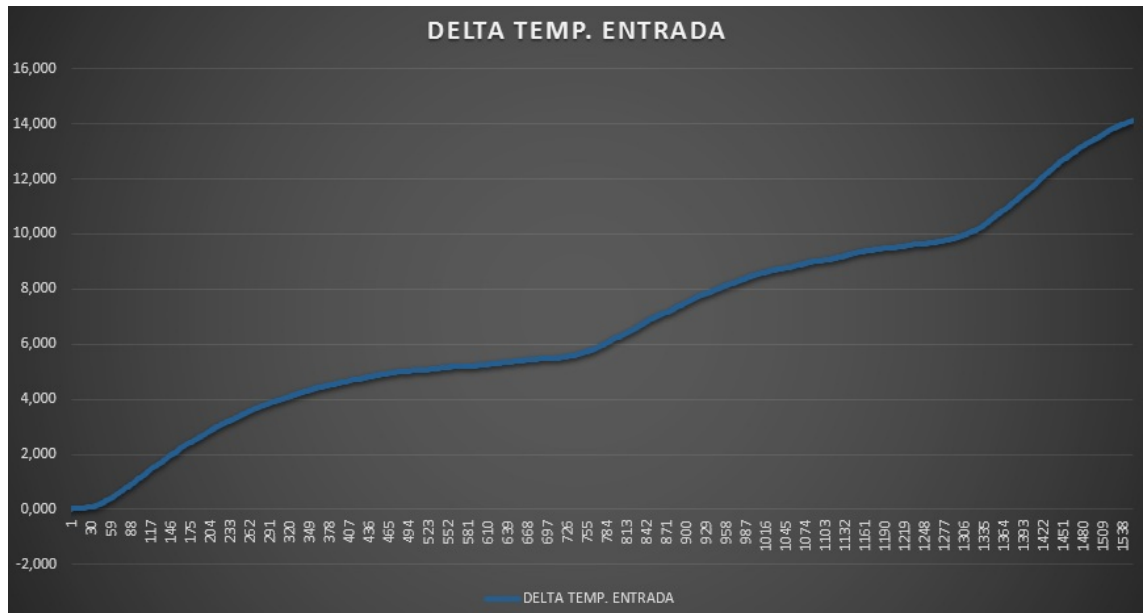


Figura A.12.: Delta temperatura entrada.

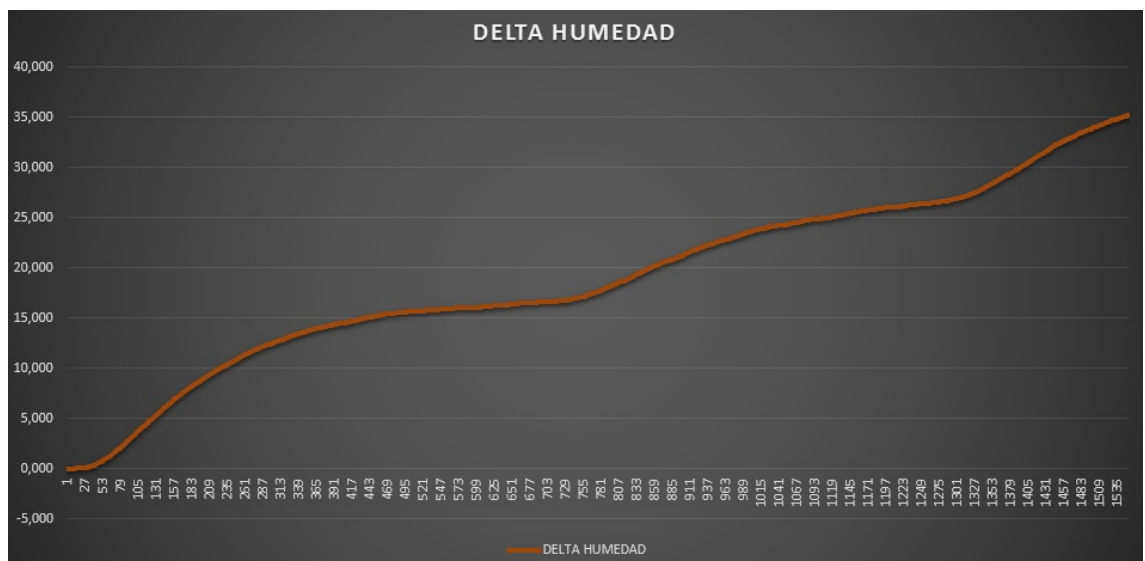


Figura A.13.: Delta humedad.

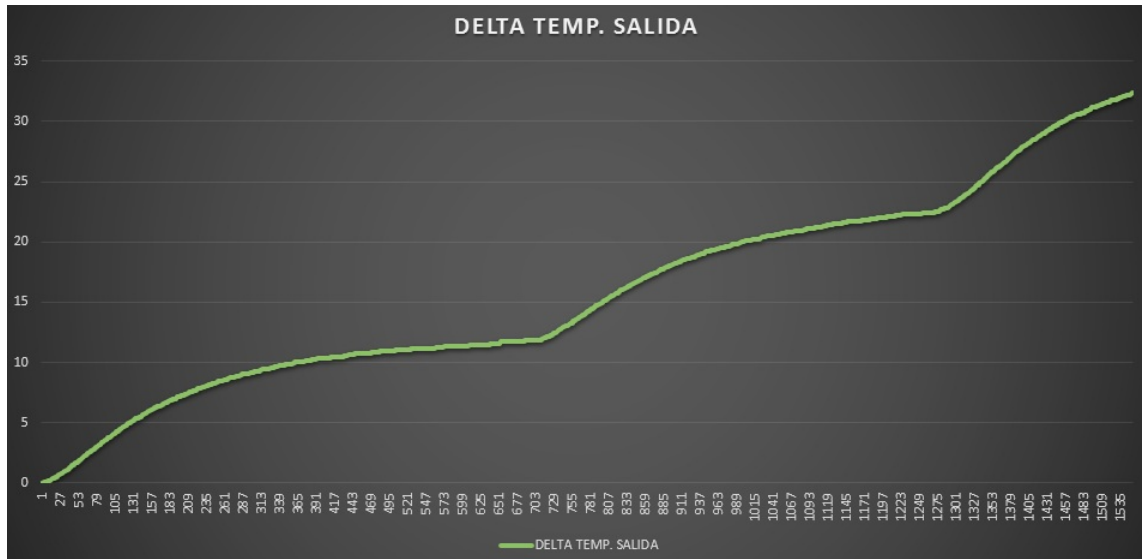


Figura A.14.: Delta temperatura salida.

A.1.9. Valores relativos temperatura y humedad cuarta prueba.

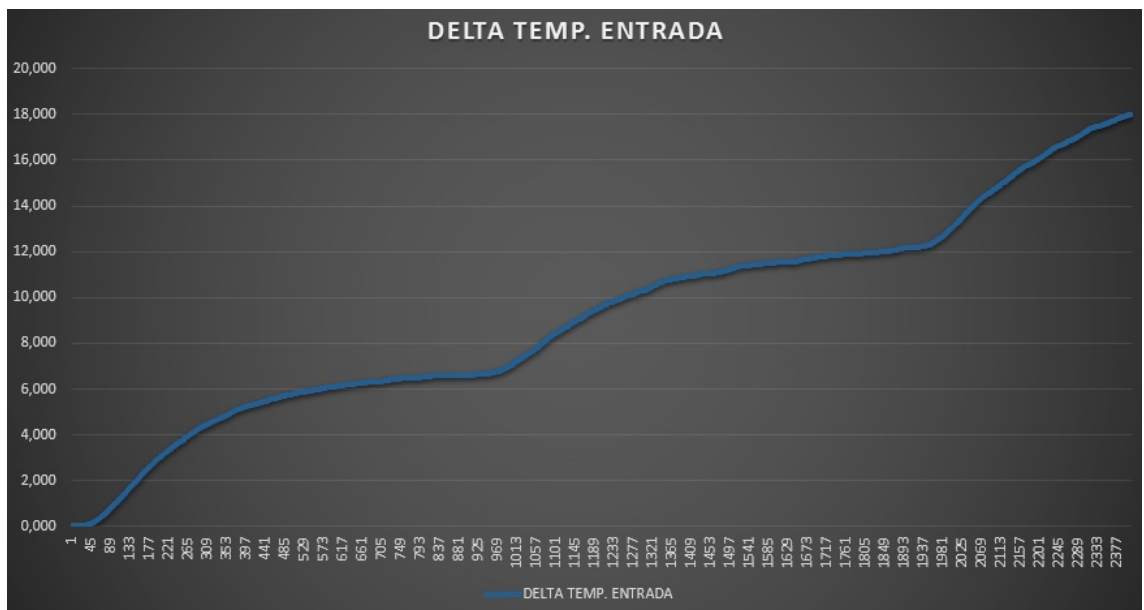


Figura A.15.: Delta temperatura entrada.

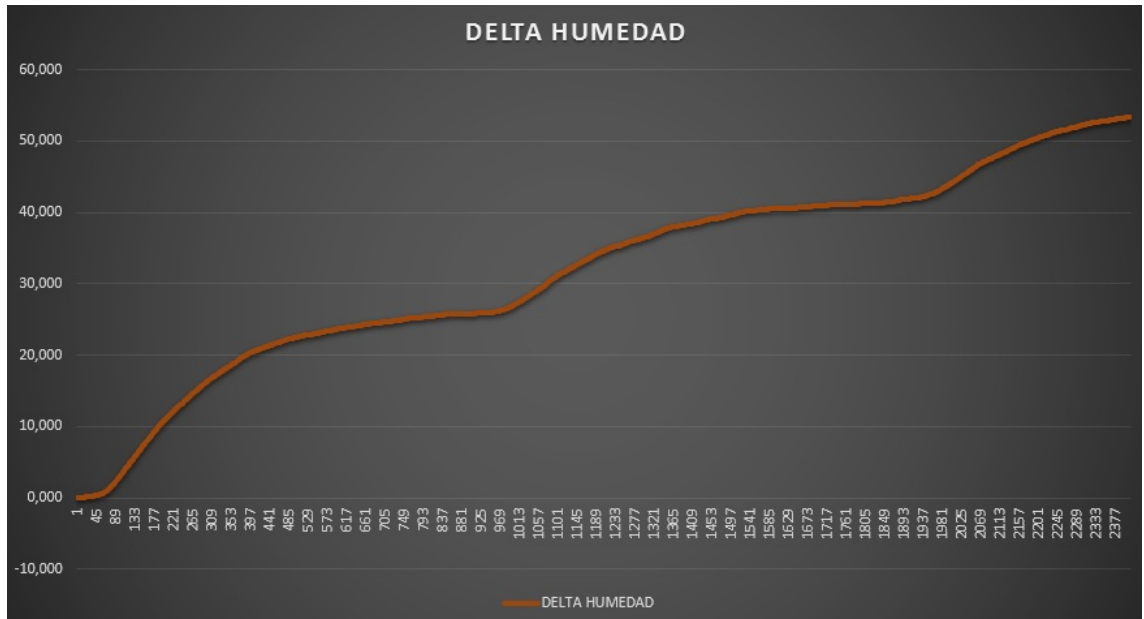


Figura A.16.: Delta humedad.

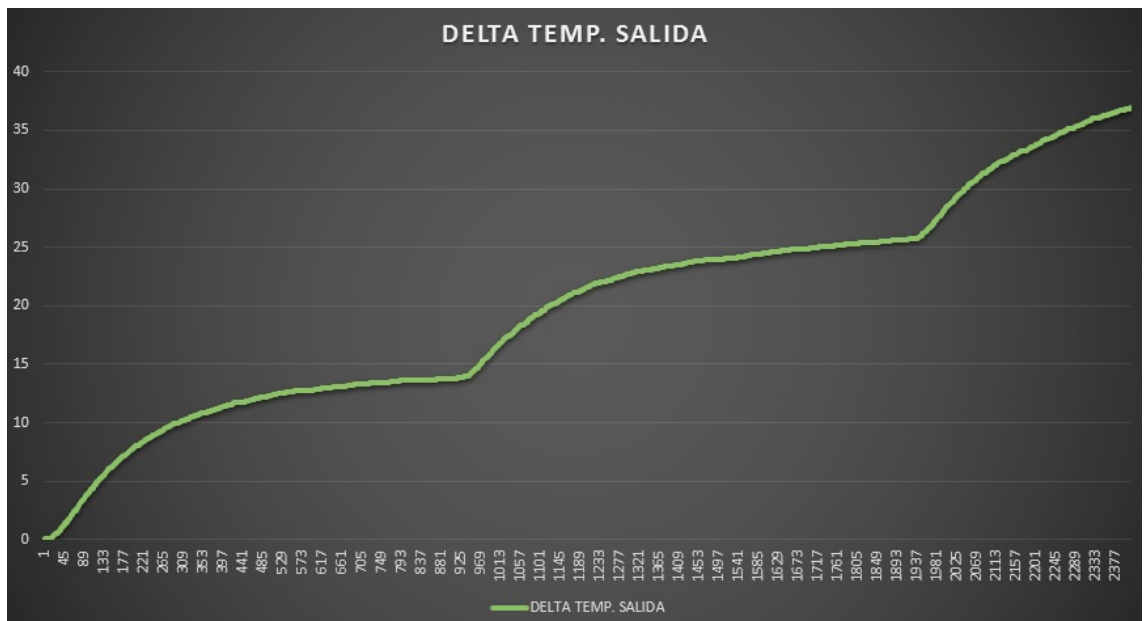


Figura A.17.: Delta temperatura salida.

A.1.10. Valores relativos temperatura y humedad quinta prueba.

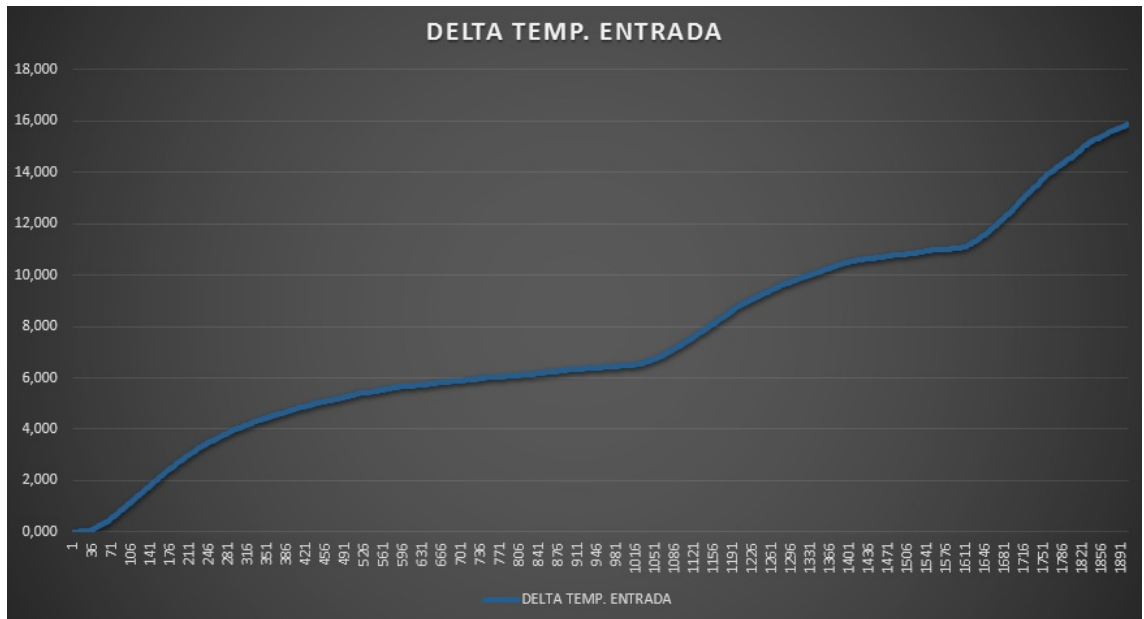


Figura A.18.: Delta temperatura entrada.

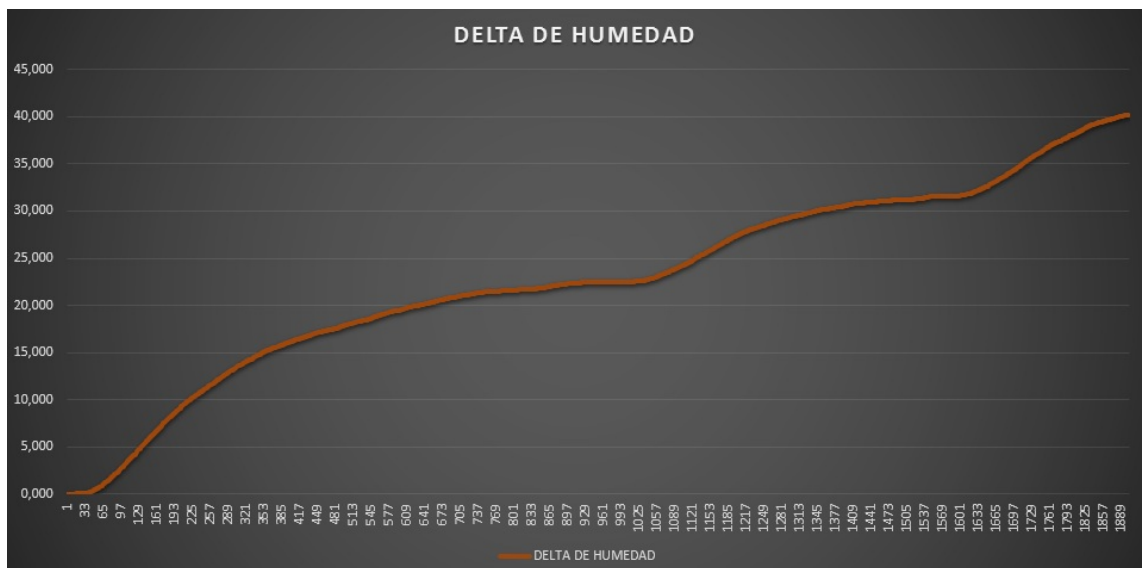


Figura A.19.: Delta humedad.

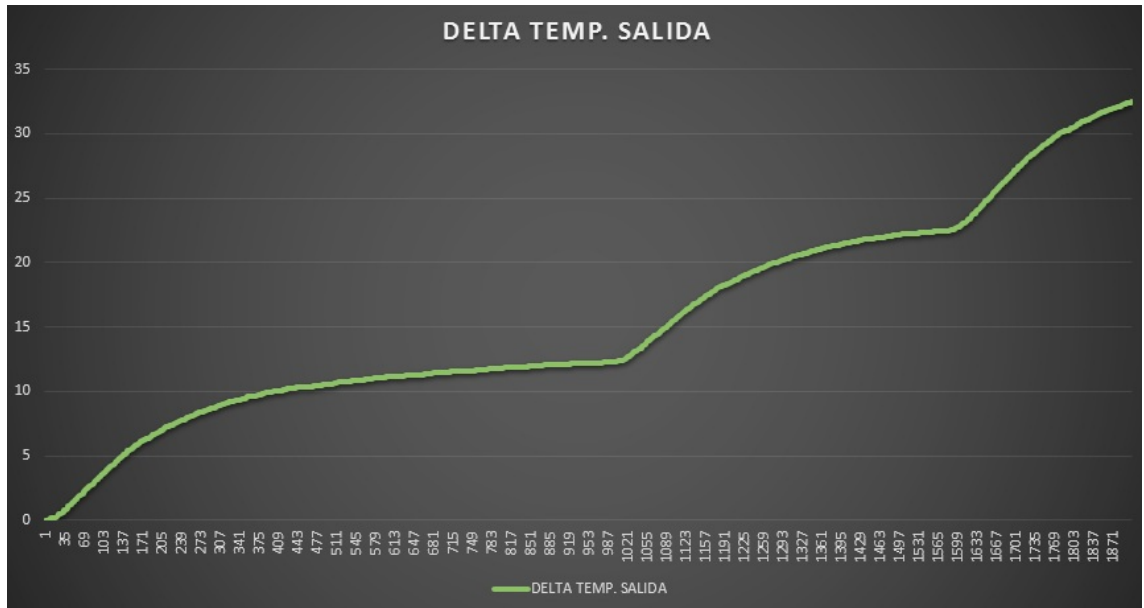


Figura A.20.: Delta temperatura salida.

A.1.11. Valores relativos temperatura y humedad sexta prueba.

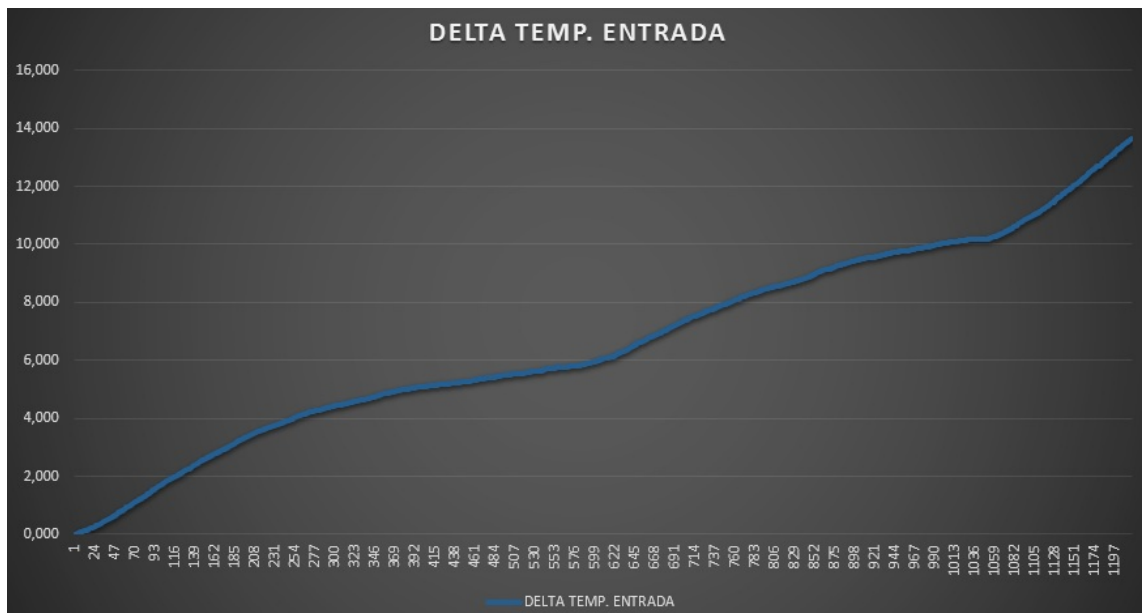


Figura A.21.: Delta temperatura entrada.

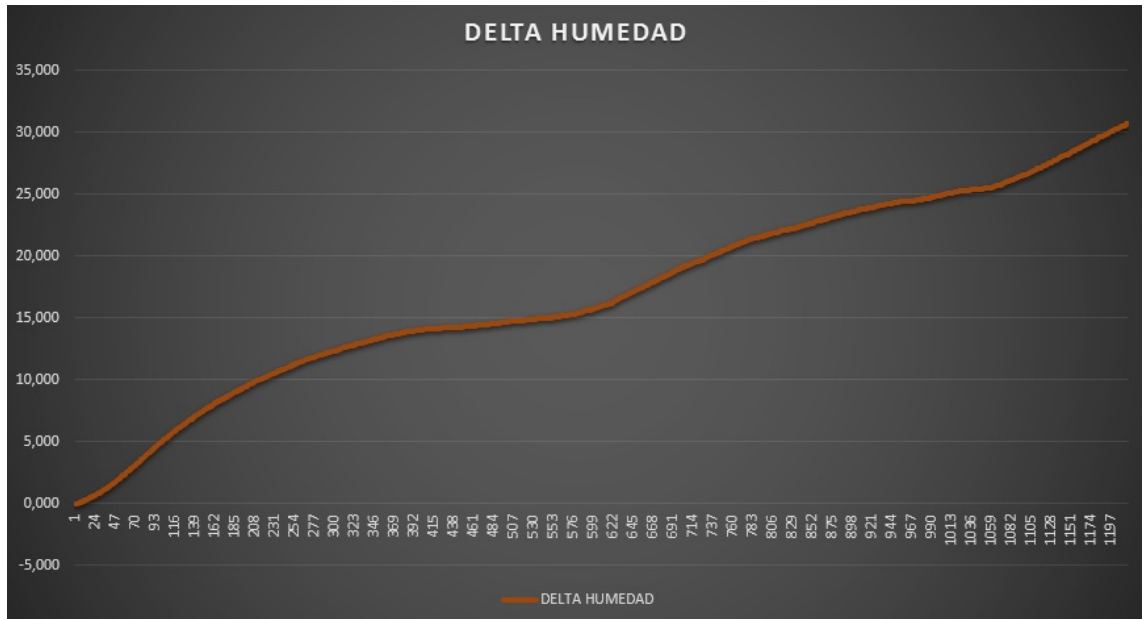


Figura A.22.: Delta humedad.

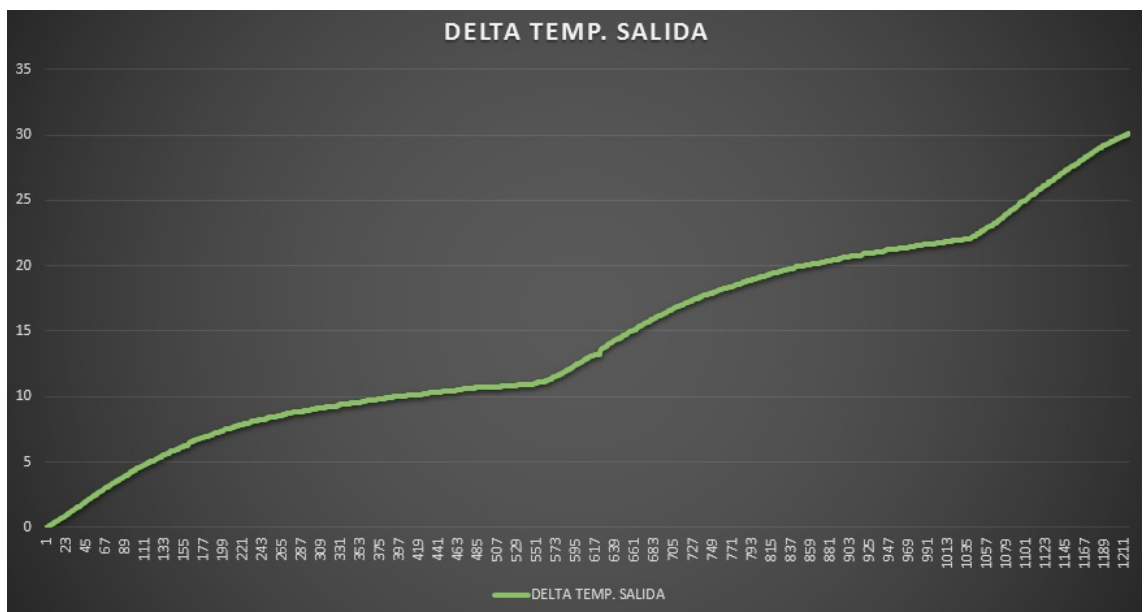


Figura A.23.: Delta temperatura salida.

A.1.12. Valores relativos temperatura y humedad séptima prueba.

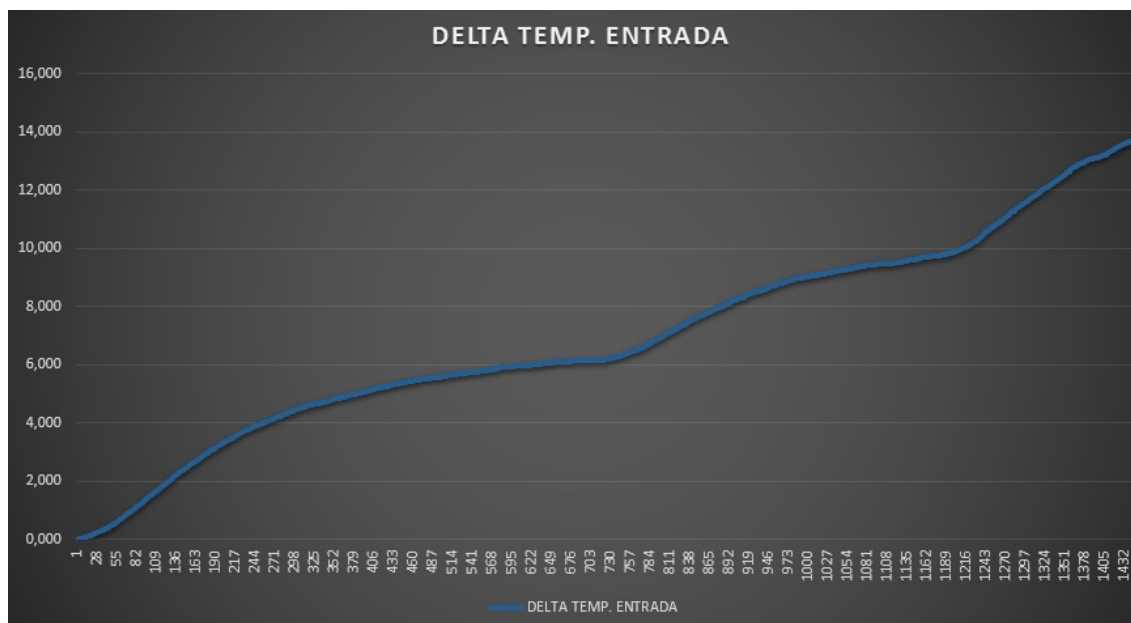


Figura A.24.: Delta temperatura entrada.

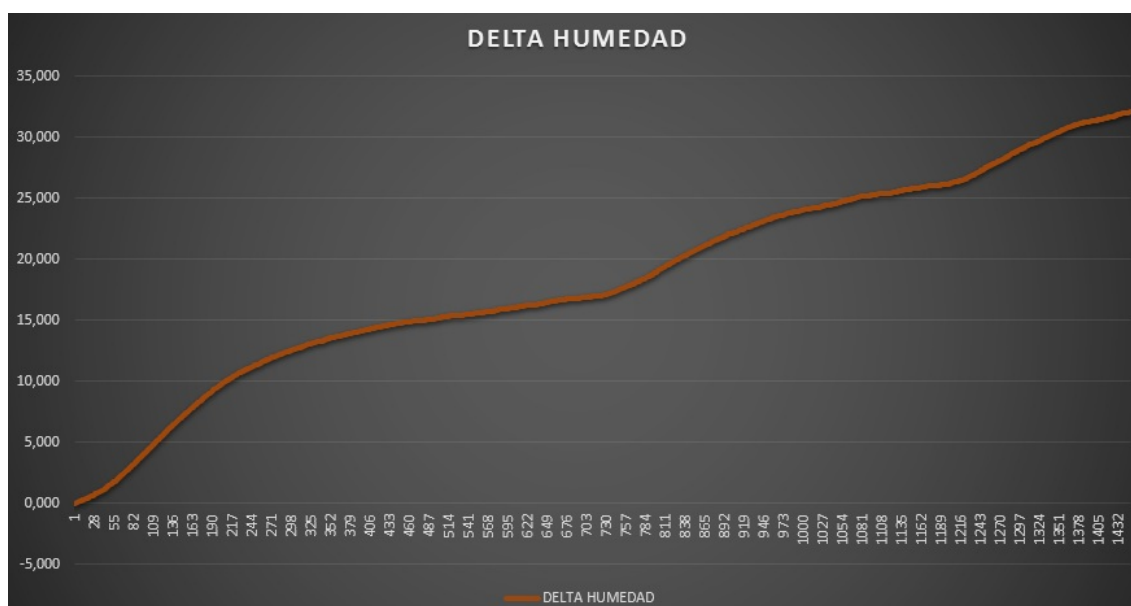


Figura A.25.: Delta humedad.

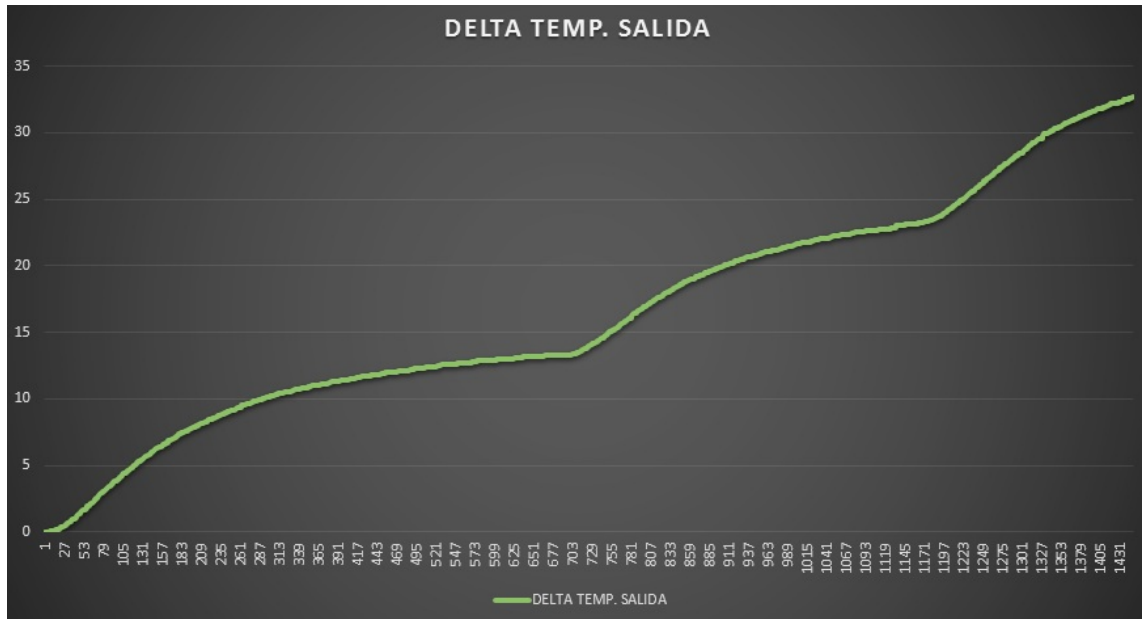


Figura A.26.: Delta temperatura salida.

A.1.13. Valores relativos temperatura y humedad octava prueba.

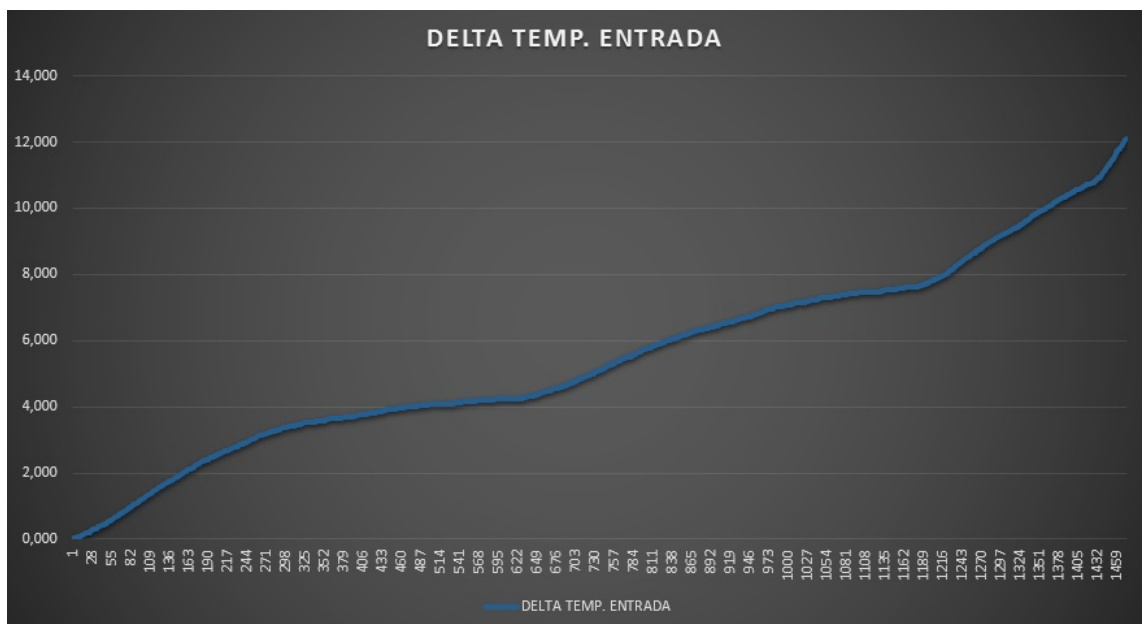


Figura A.27.: Delta temperatura entrada.

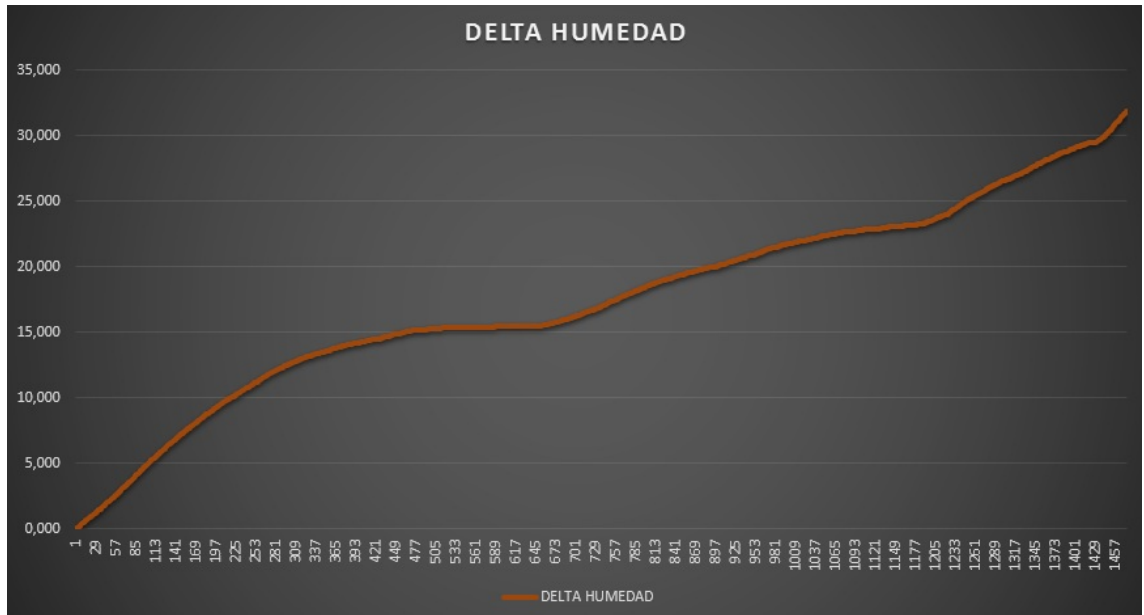


Figura A.28.: Delta humedad.

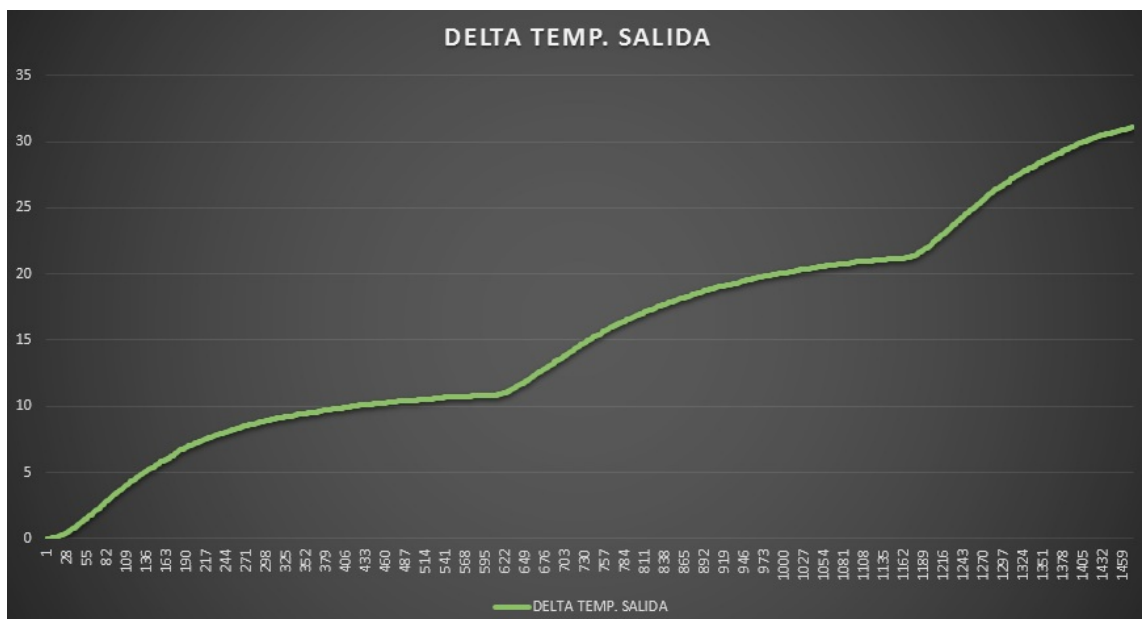


Figura A.29.: Delta temperatura salida.

A.2. Velocidad media Fan Coil.

A.2.1. Temperatura promedio de entrada.

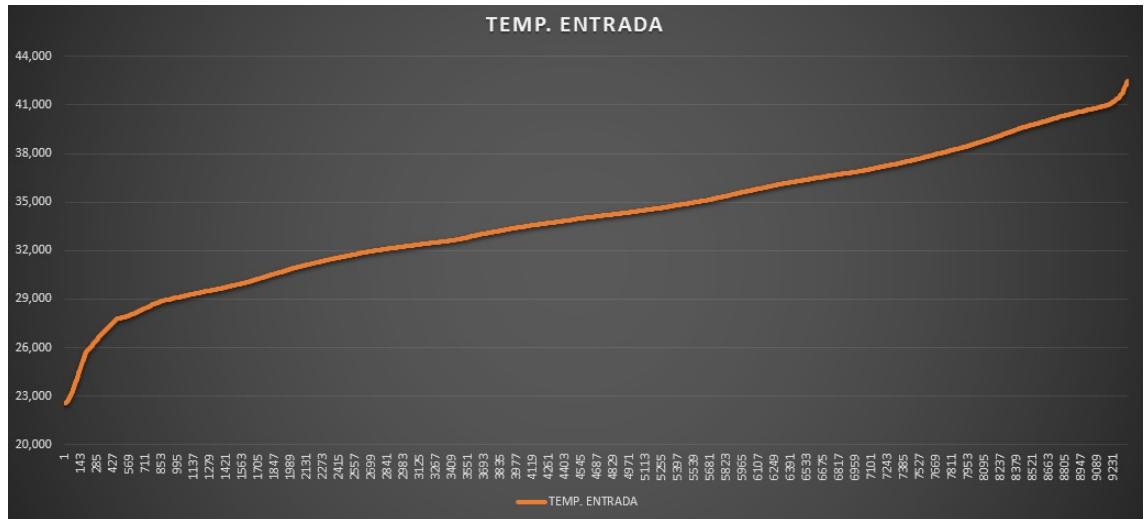


Figura A.30.: Comportamiento promedio humedad velocidad media Fan Coil

A.2.2. Humedad promedio.

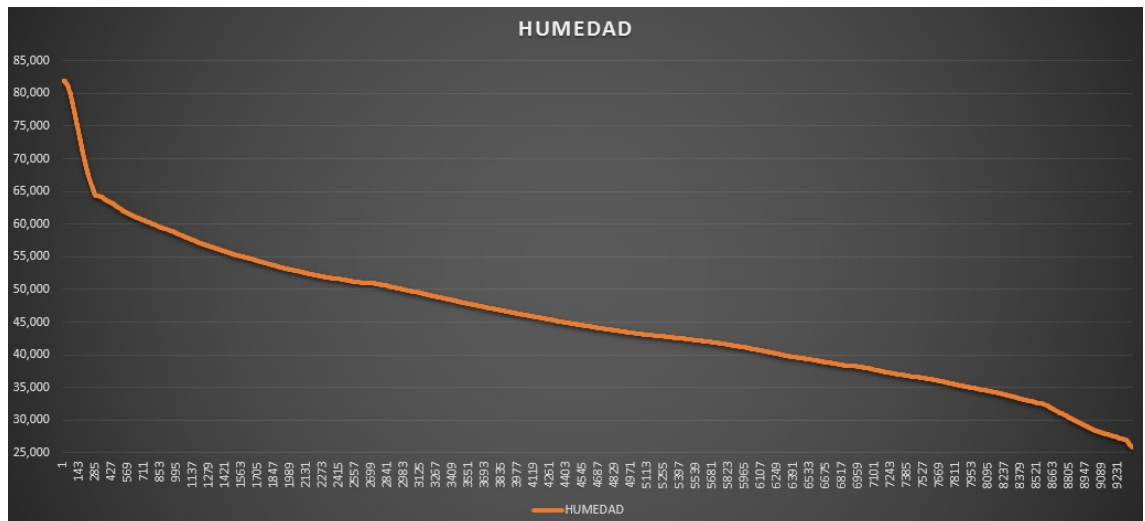


Figura A.31.: Comportamiento promedio humedad velocidad media Fan Coil.

A.2.3. Temperatura promedio de salida.

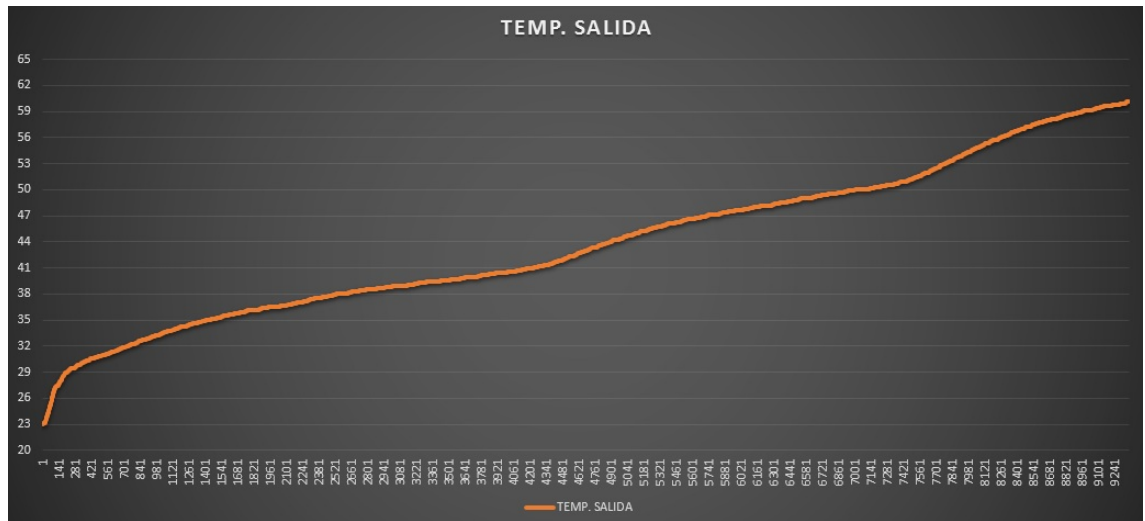


Figura A.32.: Comportamiento promedio temperatura de salida velocidad media Fan Coil.

A.2.4. Temperatura promedio de entrada, humedad promedio y temperatura promedio de salida.

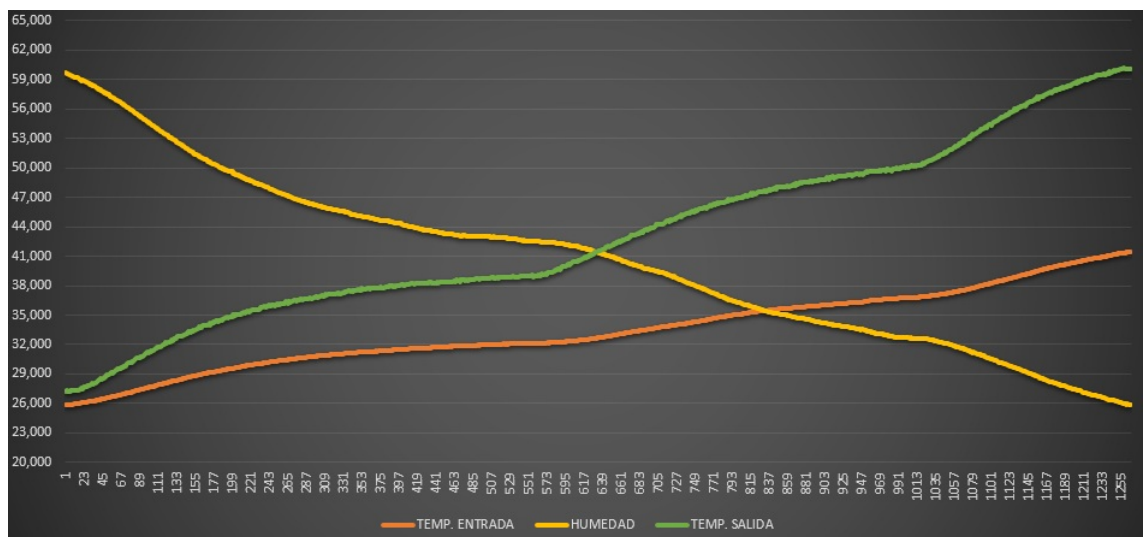


Figura A.33.: Comportamiento promedio temperatura de entrada, humedad y temperatura de salida velocidad media Fan Coil.

A.2.5. Gráfica Carta Psicrométrica.

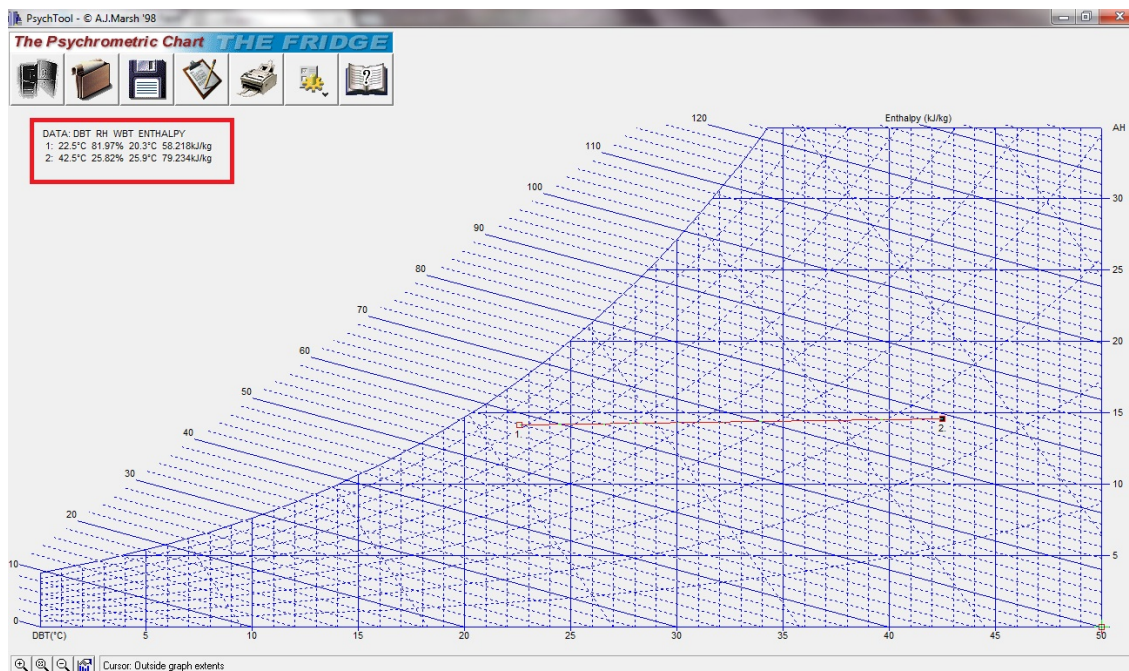


Figura A.34.: Carta psicrométrica velocidad media Fan Coil.

A.2.6. Valores relativos temperatura y humedad primera prueba.

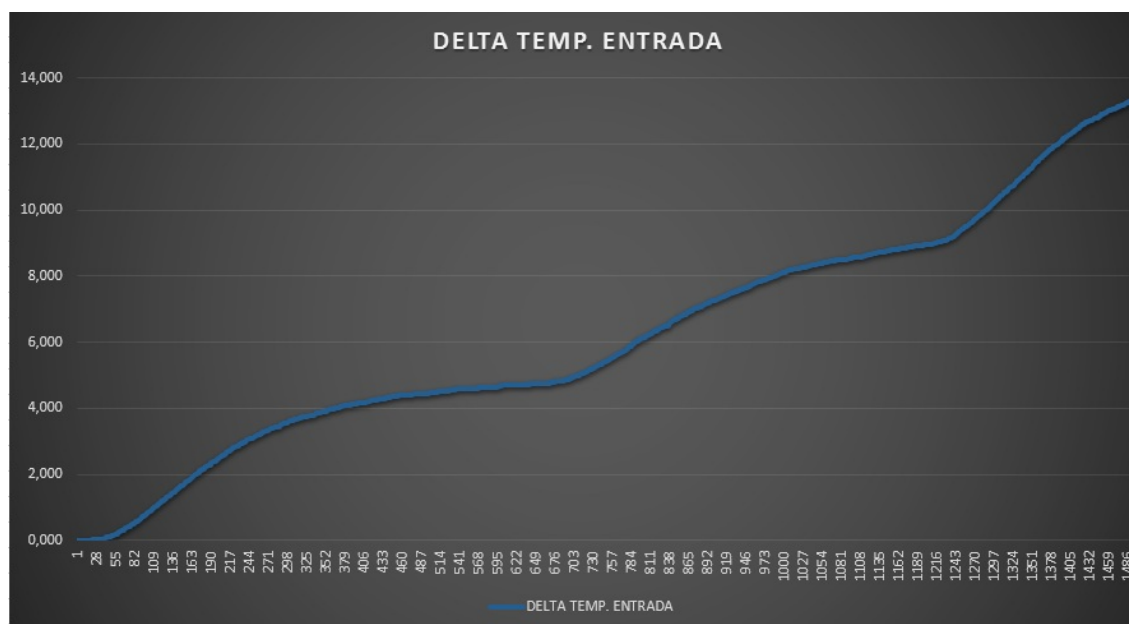


Figura A.35.: Delta temperatura entrada.

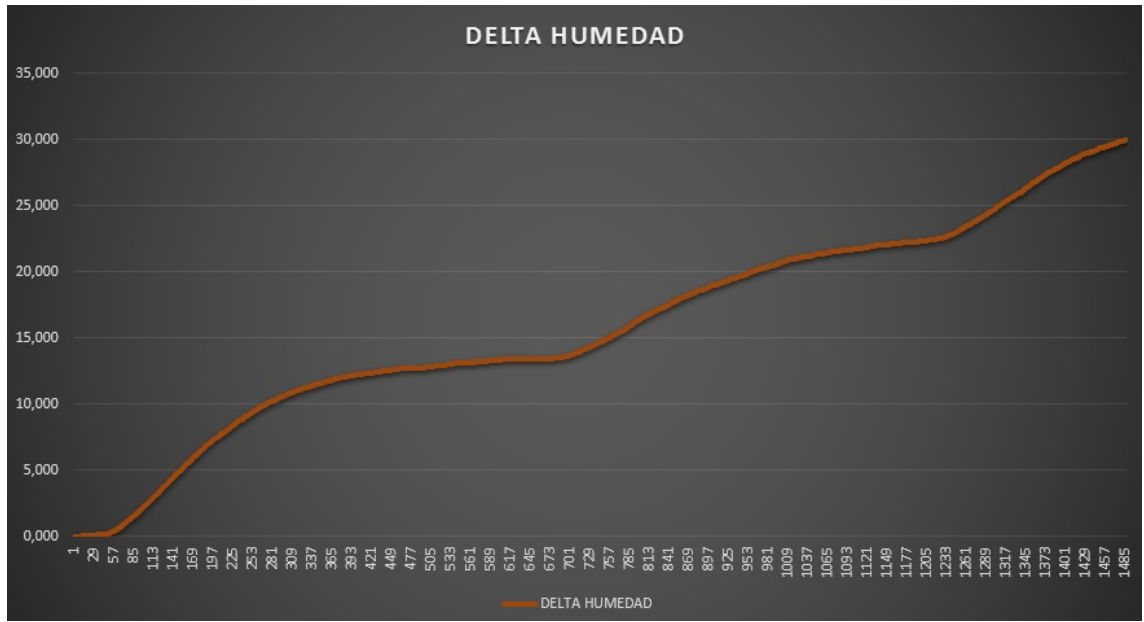


Figura A.36.: Delta humedad.

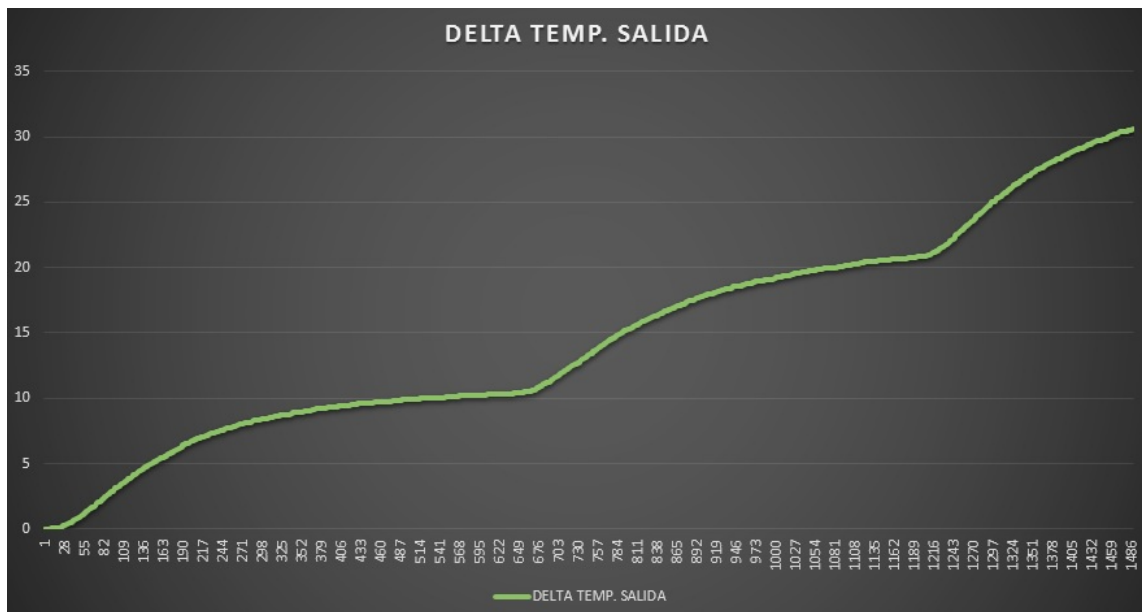


Figura A.37.: Delta temperatura salida.

A.2.7. Valores relativos temperatura y humedad segunda prueba.

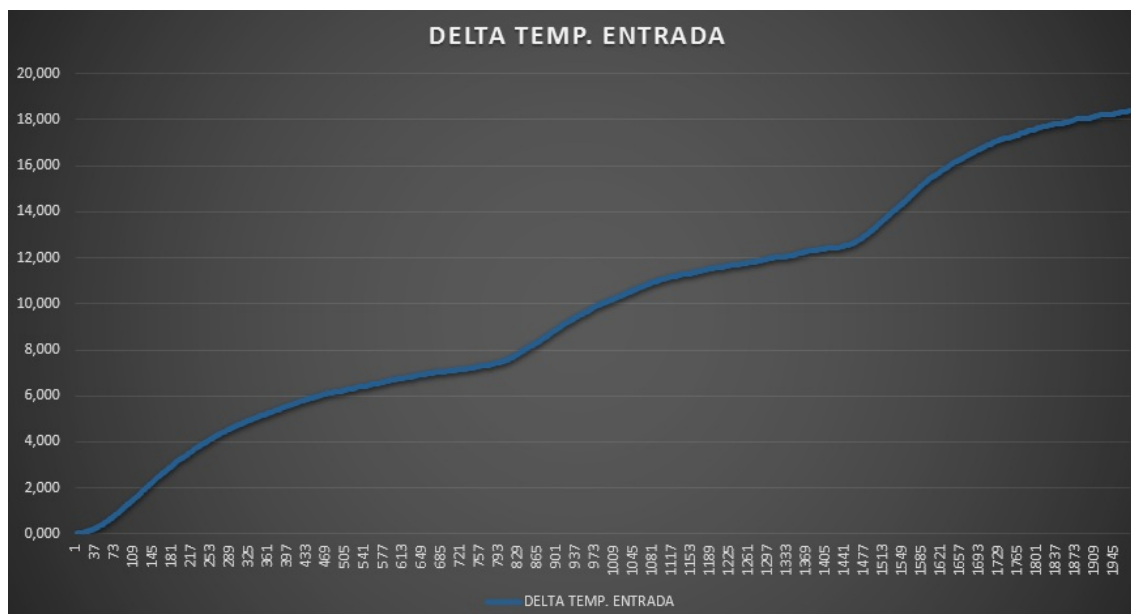


Figura A.38.: Delta temperatura entrada.

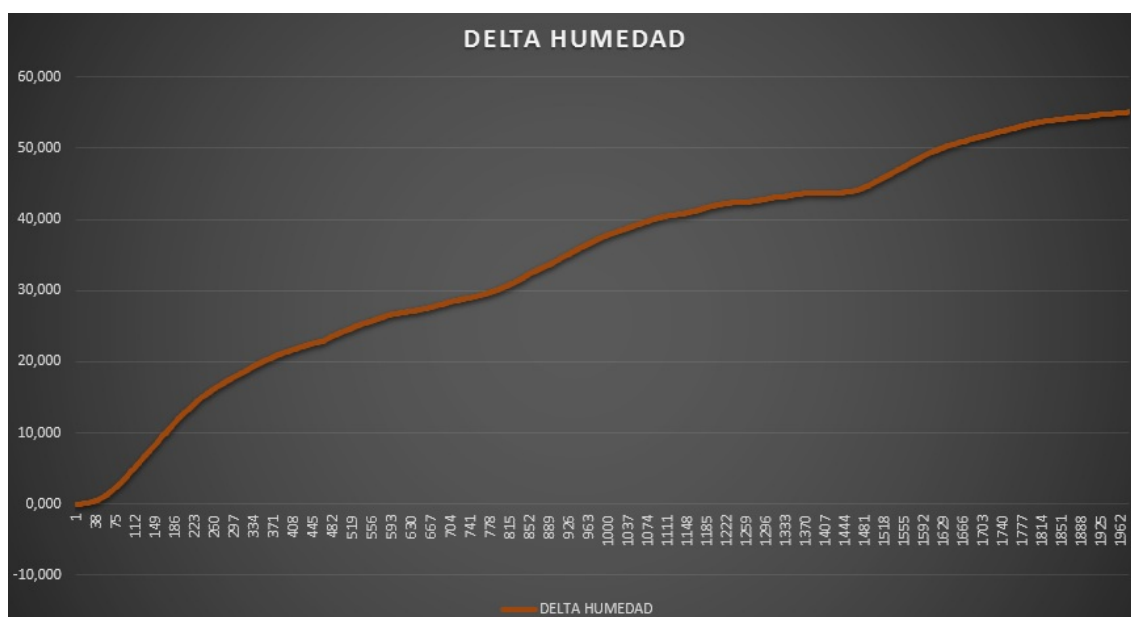


Figura A.39.: Delta humedad.

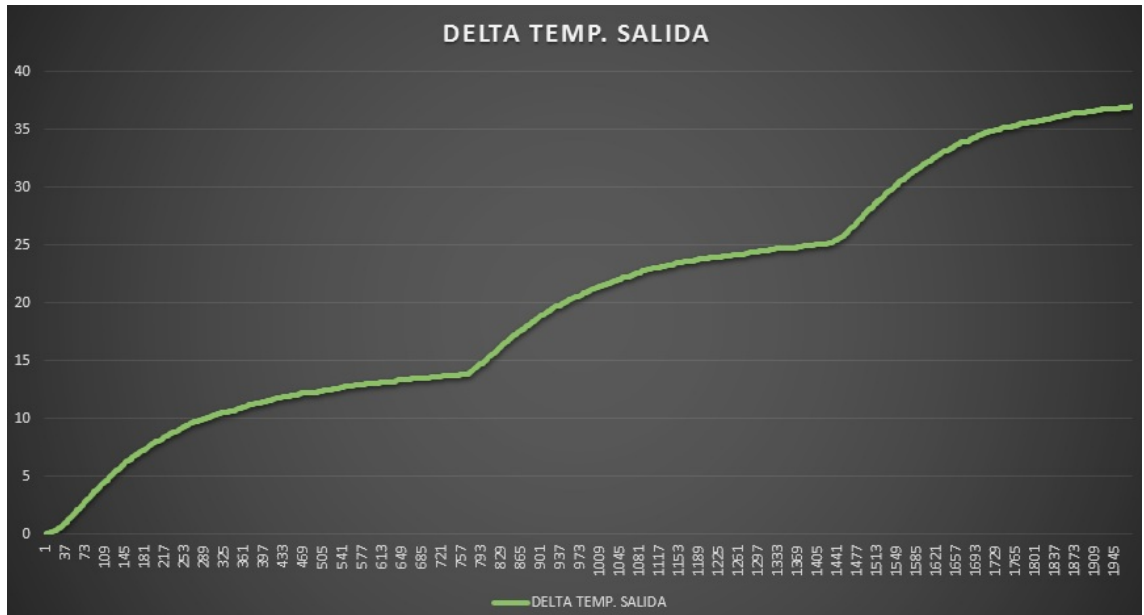


Figura A.40.: Delta temperatura salida.

A.2.8. Valores relativos temperatura y humedad tercera prueba.

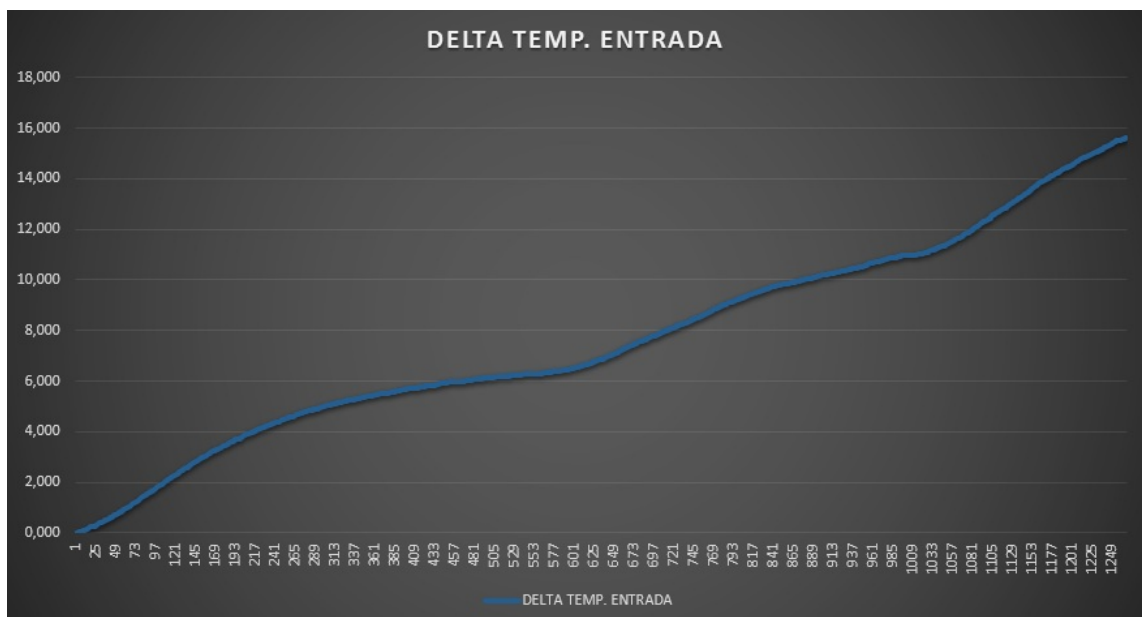


Figura A.41.: Delta temperatura entrada.

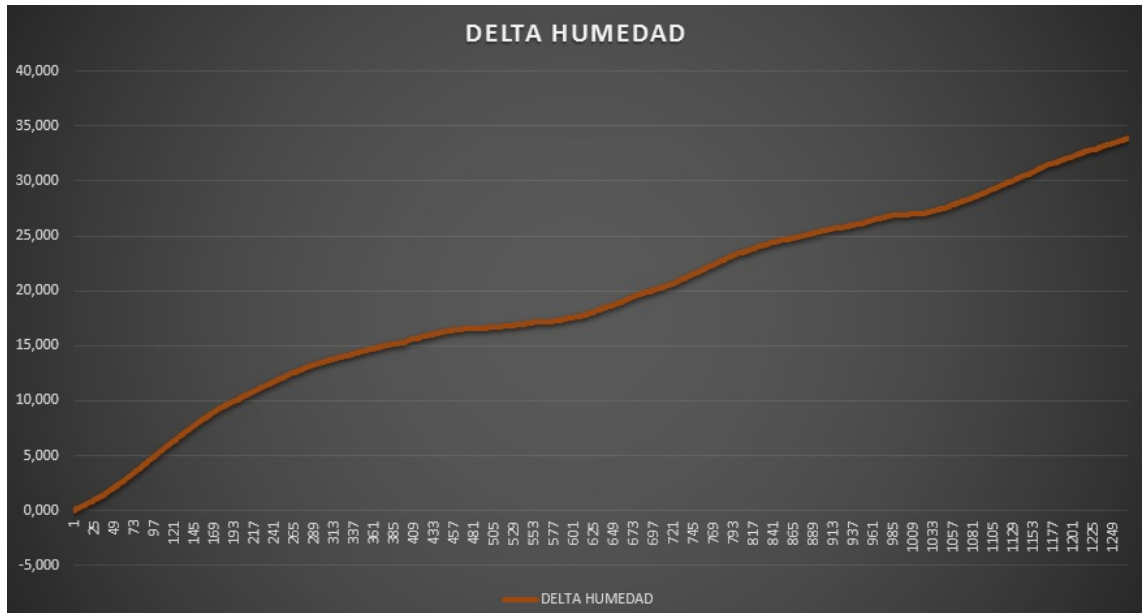


Figura A.42.: Delta humedad.

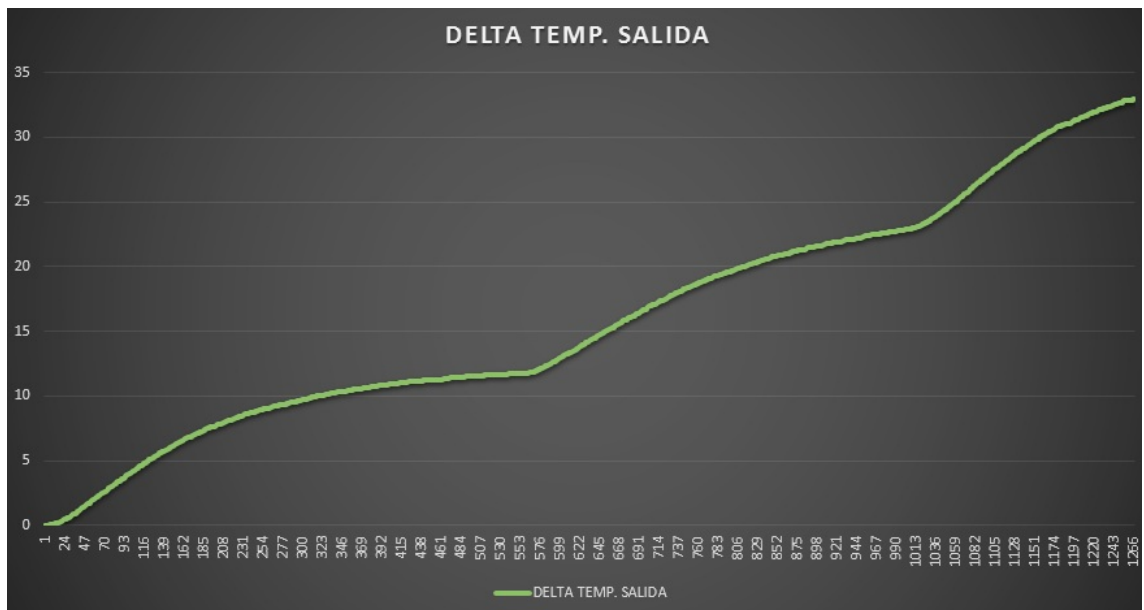


Figura A.43.: Delta temperatura salida.

A.2.9. Valores relativos temperatura y humedad cuarta prueba.

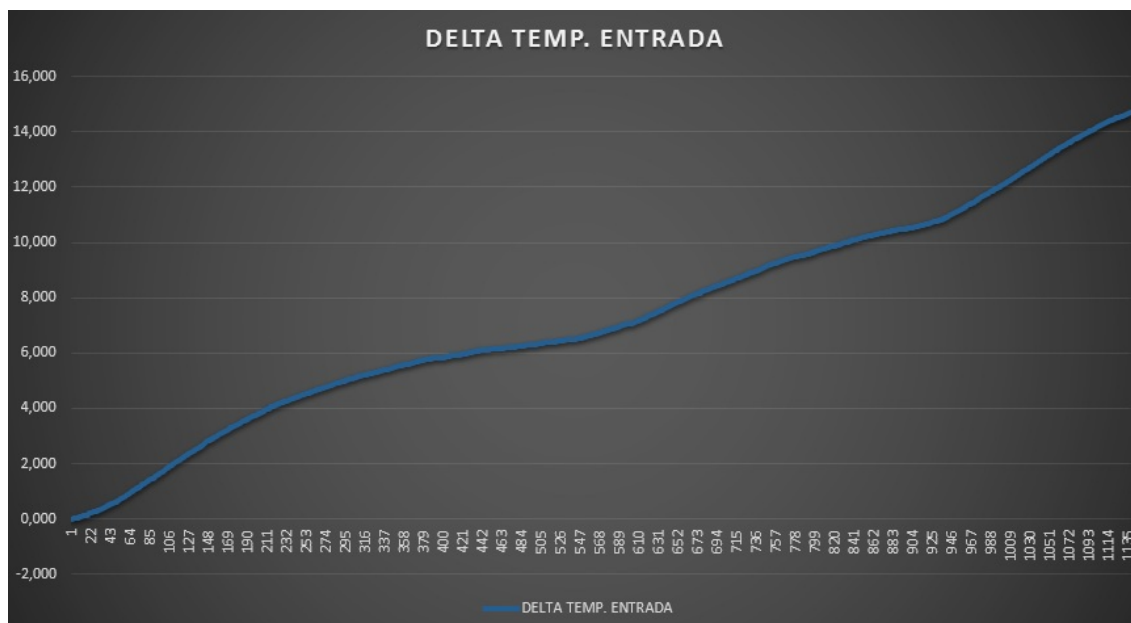


Figura A.44.: Delta temperatura entrada.

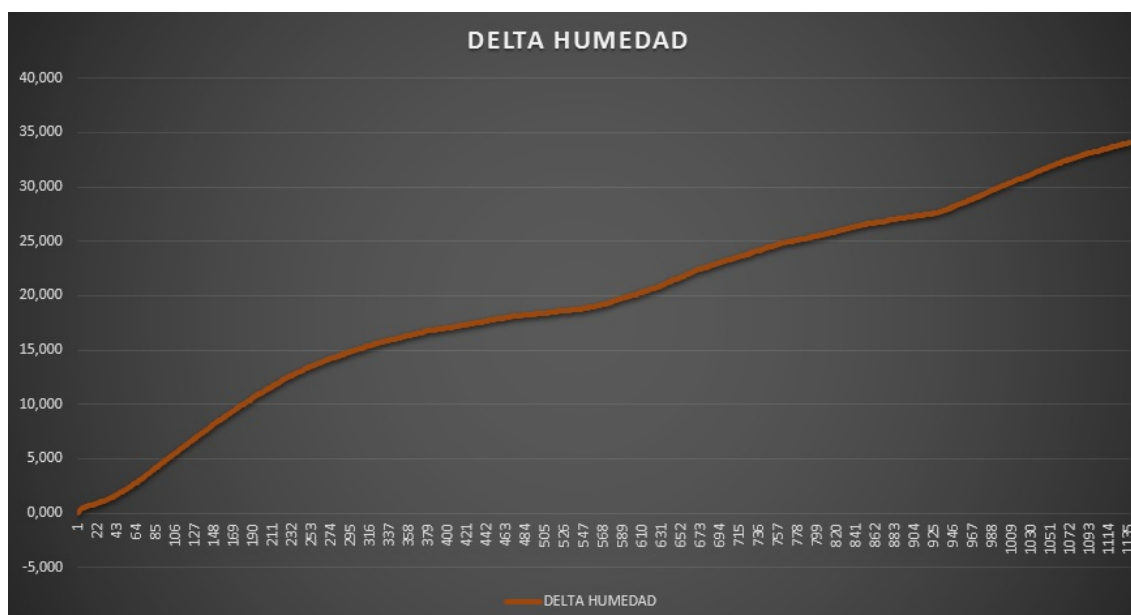


Figura A.45.: Delta humedad.

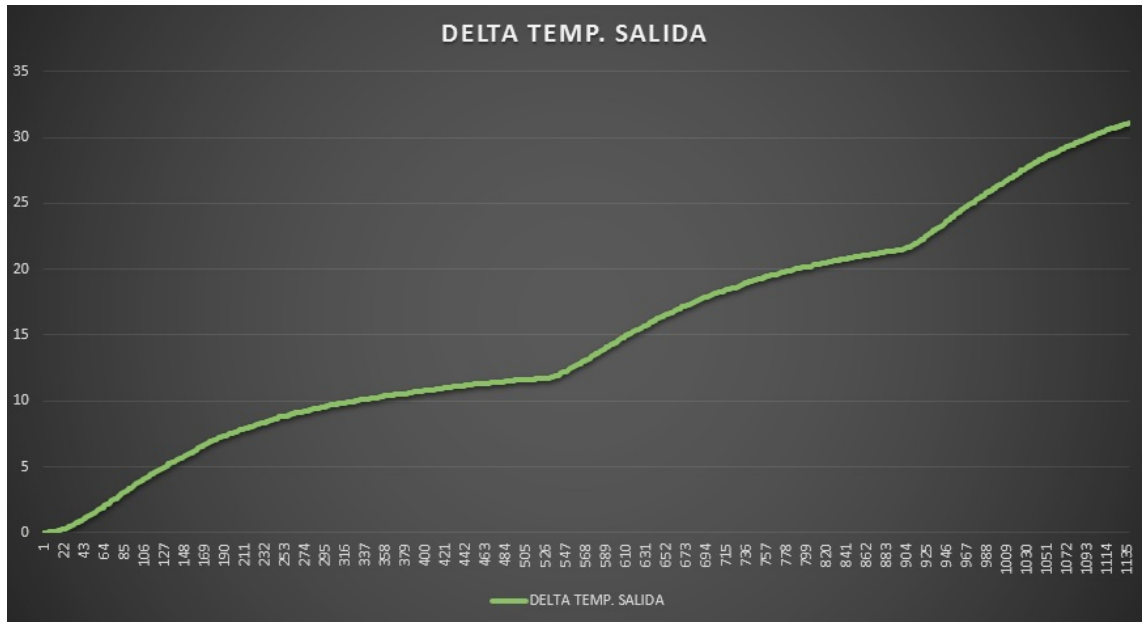


Figura A.46.: Delta temperatura salida.

A.2.10. Valores relativos temperatura y humedad quinta prueba.

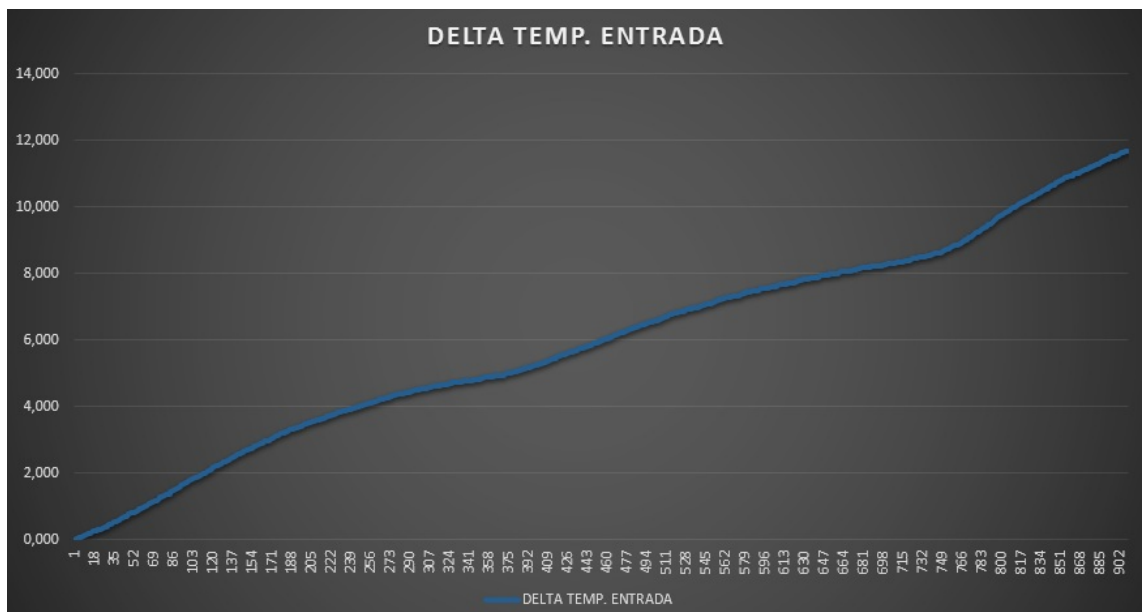


Figura A.47.: Delta temperatura entrada.

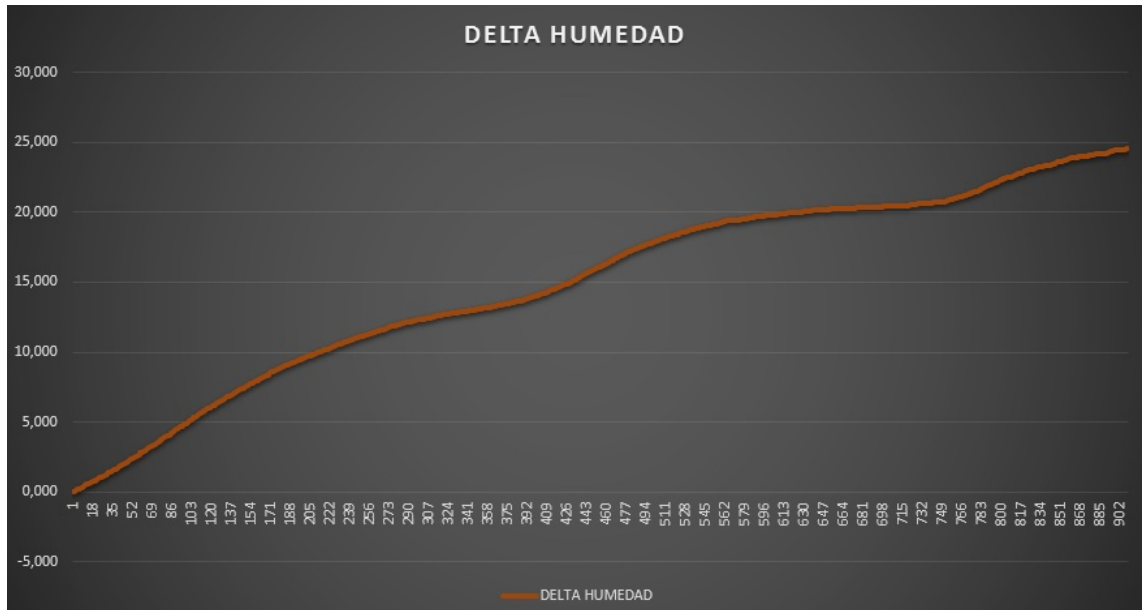


Figura A.48.: Delta humedad.

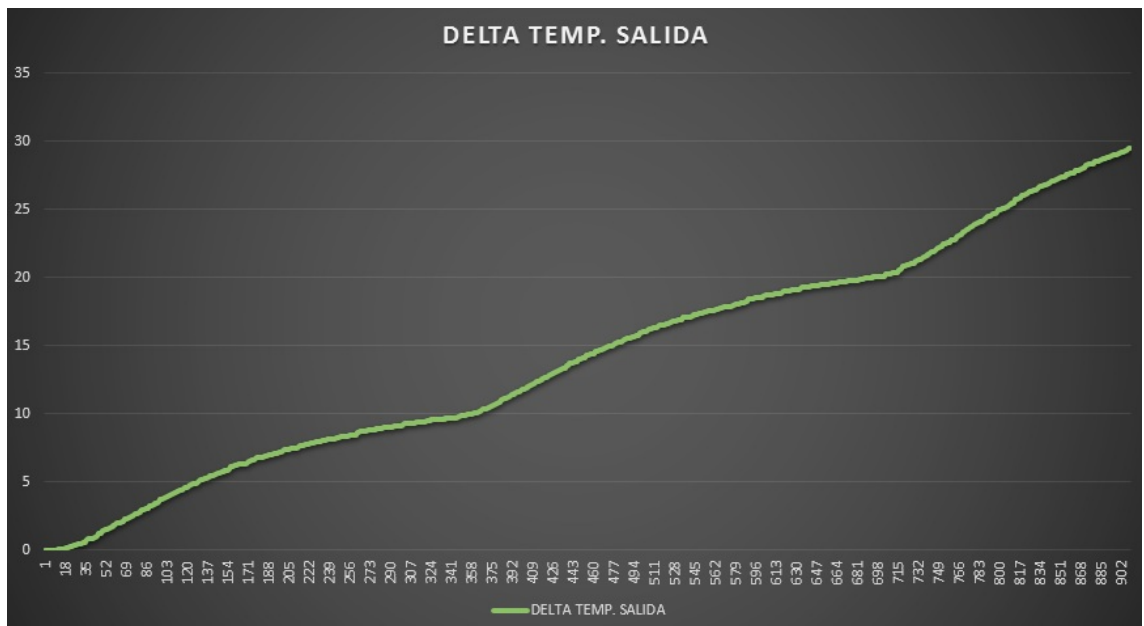


Figura A.49.: Delta temperatura salida.

A.2.11. Valores relativos temperatura y humedad sexta prueba.

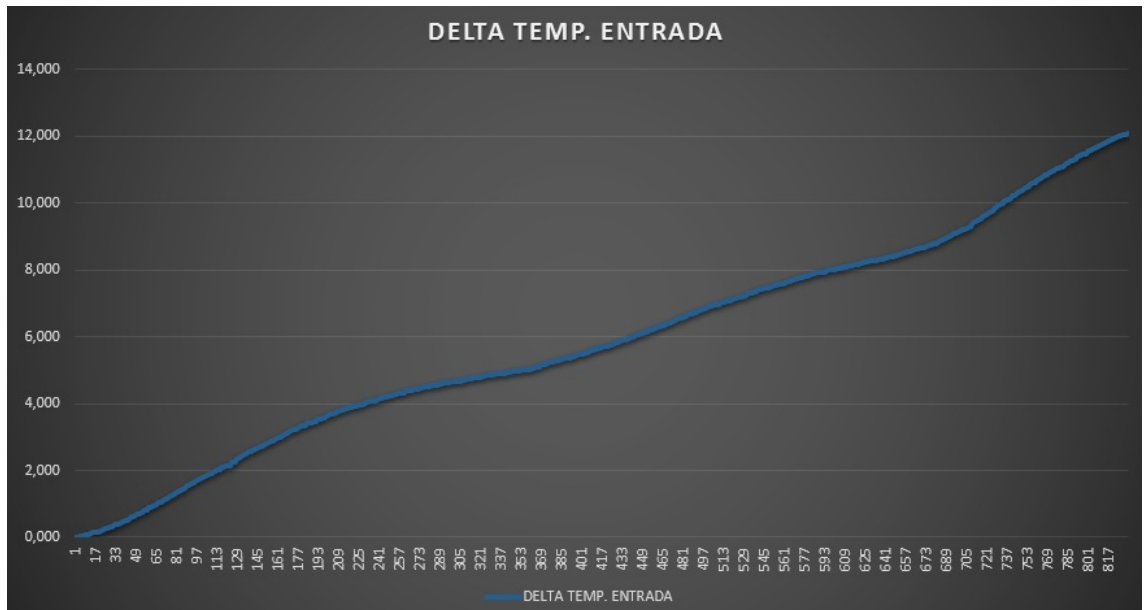


Figura A.50.: Delta temperatura entrada.

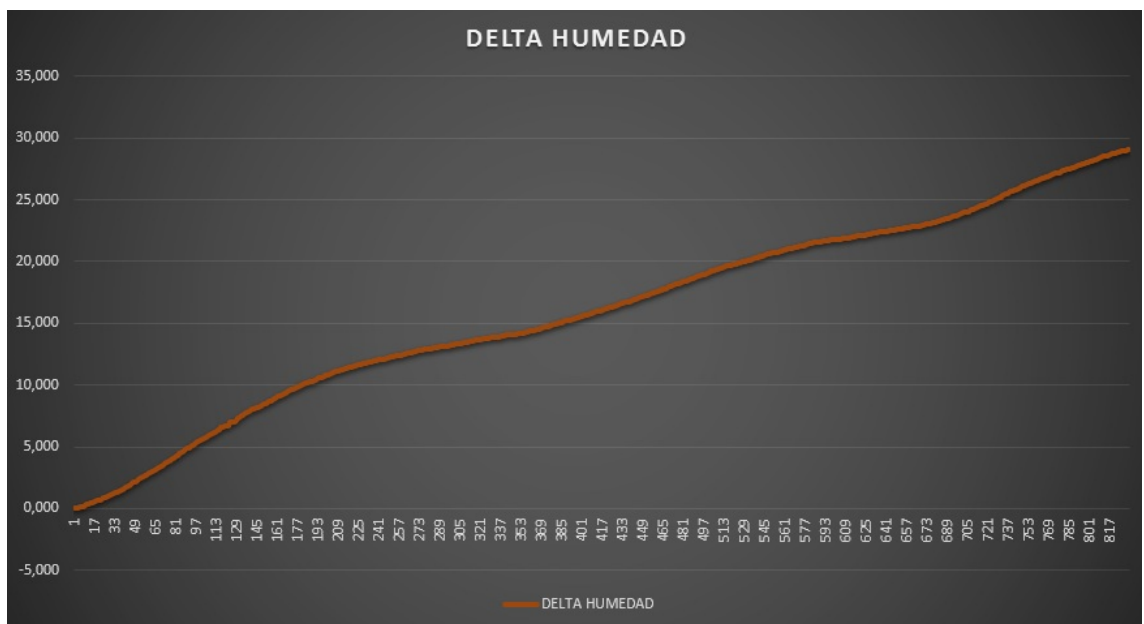


Figura A.51.: Delta humedad.

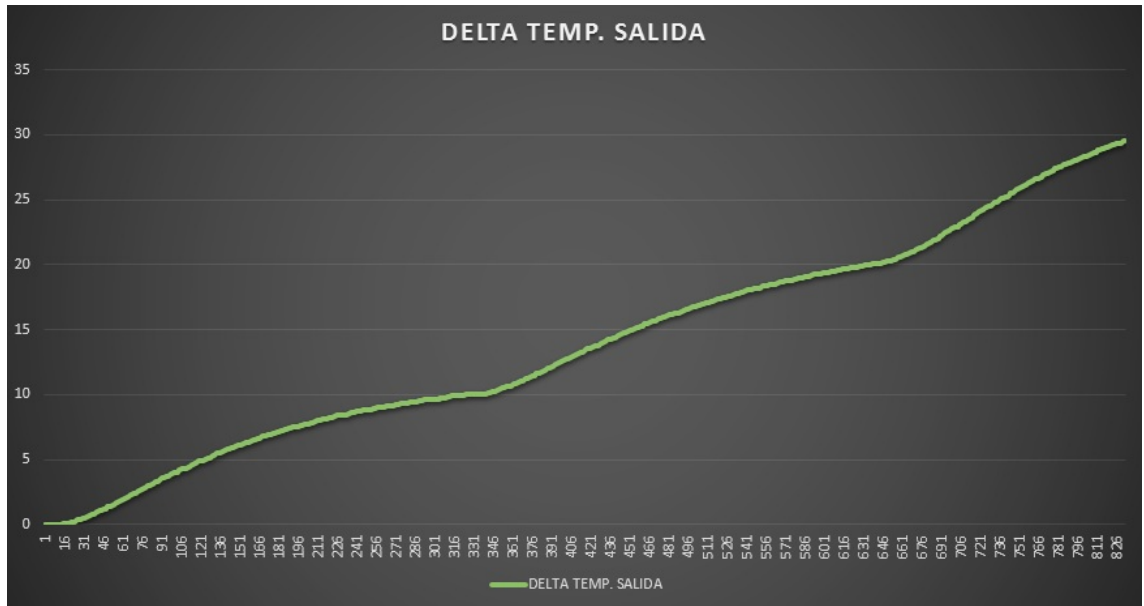


Figura A.52.: Delta temperatura salida.

A.2.12. Valores relativos temperatura y humedad séptima prueba.

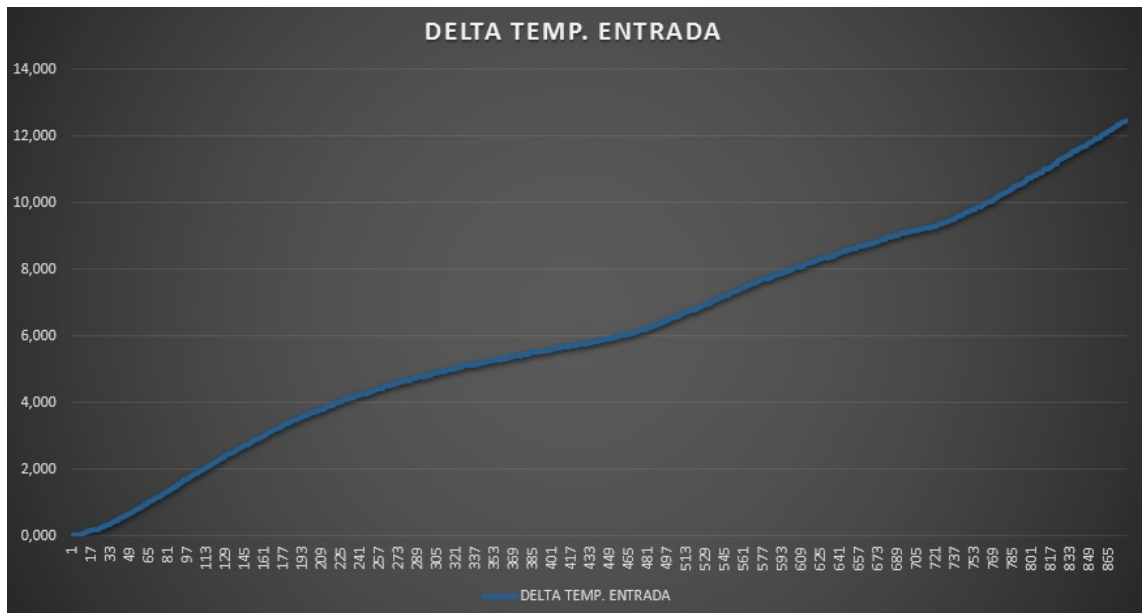


Figura A.53.: Delta temperatura entrada.

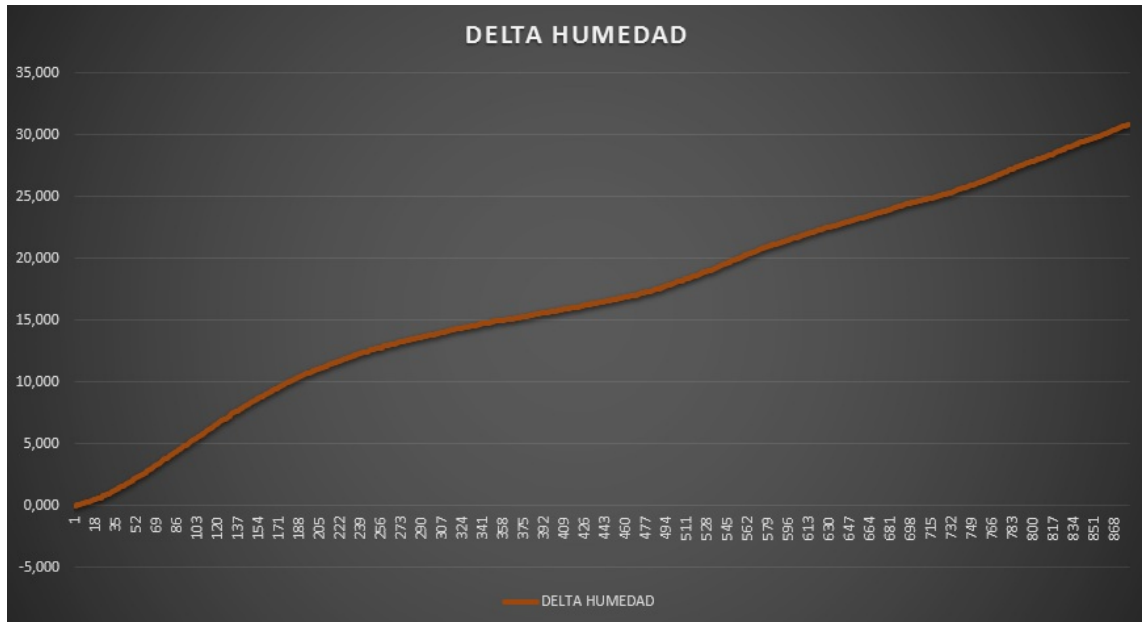


Figura A.54.: Delta humedad.

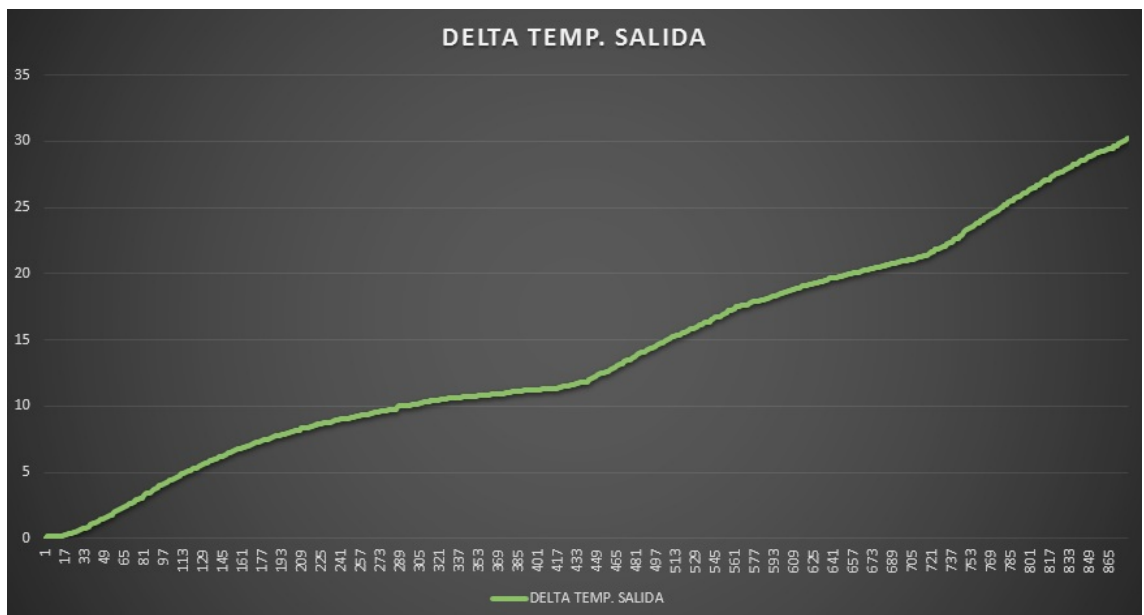


Figura A.55.: Delta temperatura salida

A.2.13. Valores relativos temperatura y humedad octava prueba.

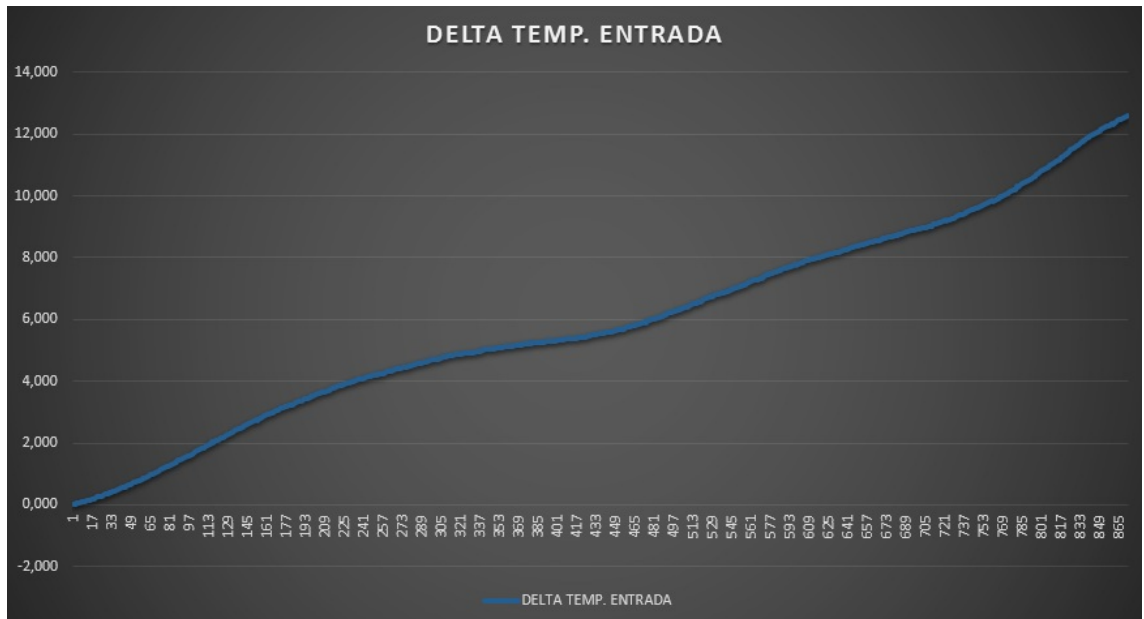


Figura A.56.: Delta temperatura entrada.

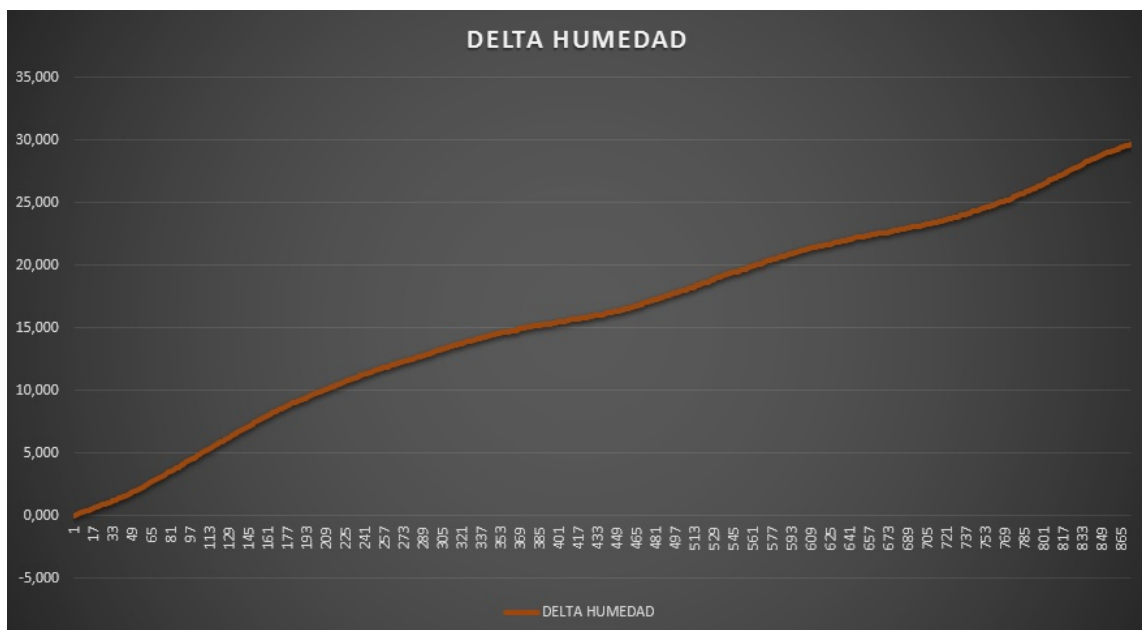


Figura A.57.: Delta humedad.

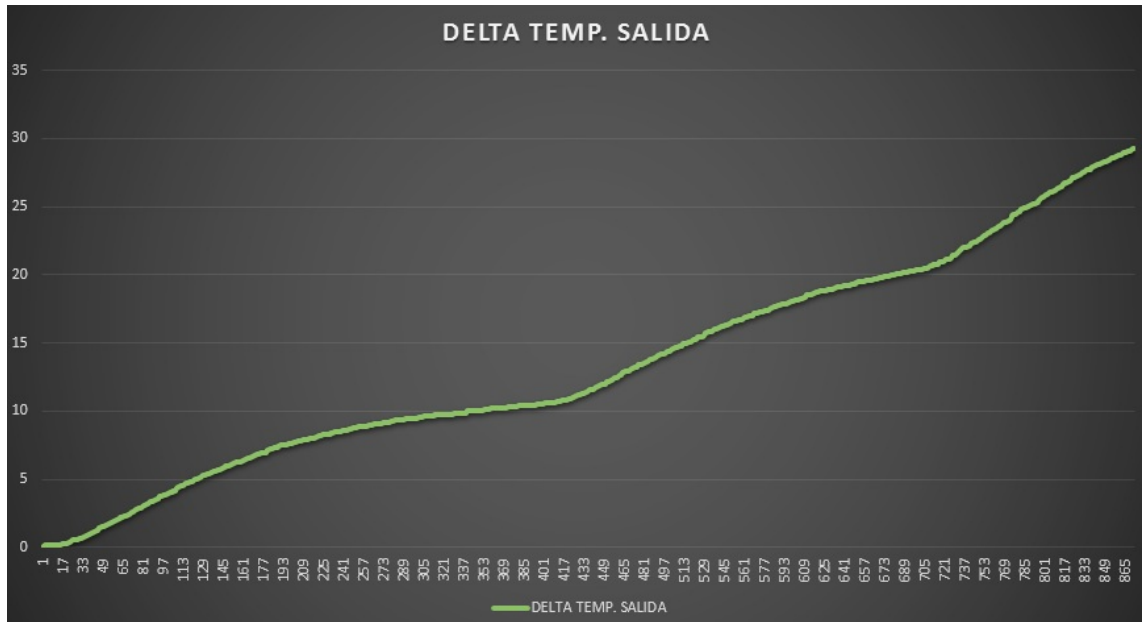


Figura A.58.: Delta temperatura salida.

A.3. Velocidad baja Fan Coil.

A.3.1. Temperatura promedio de entrada.

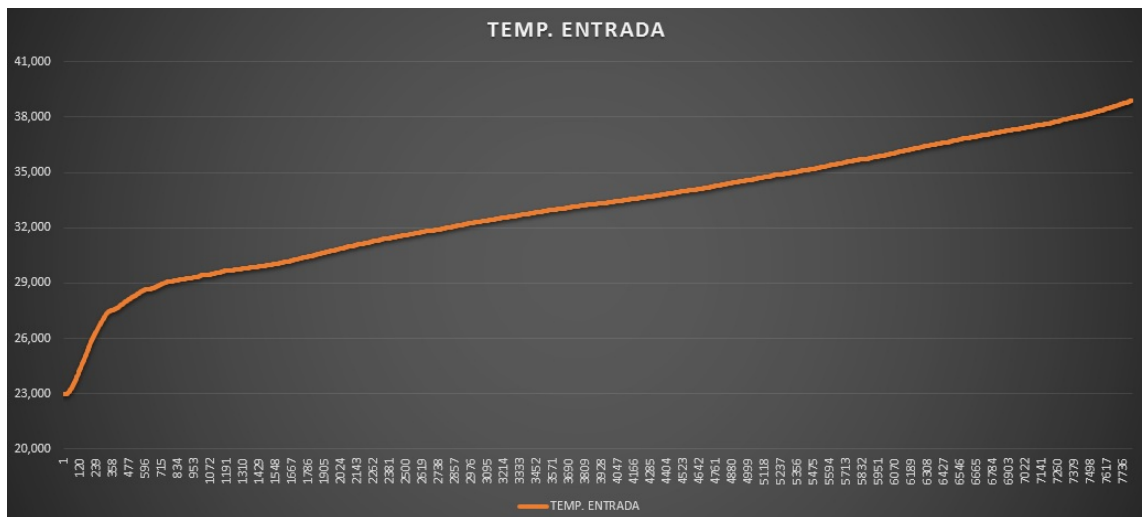


Figura A.59.: Comportamiento promedio temperatura de entrada velocidad baja Fan Coil.

A.3.2. Humedad promedio.

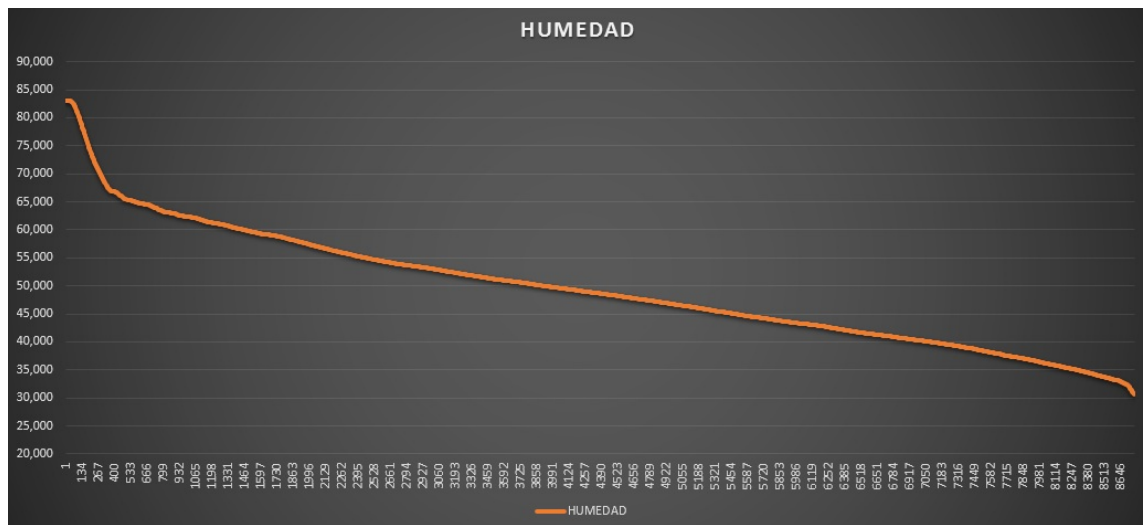


Figura A.60.: Comportamiento promedio humedad velocidad baja Fan Coil.

A.3.3. Temperatura promedio de salida.

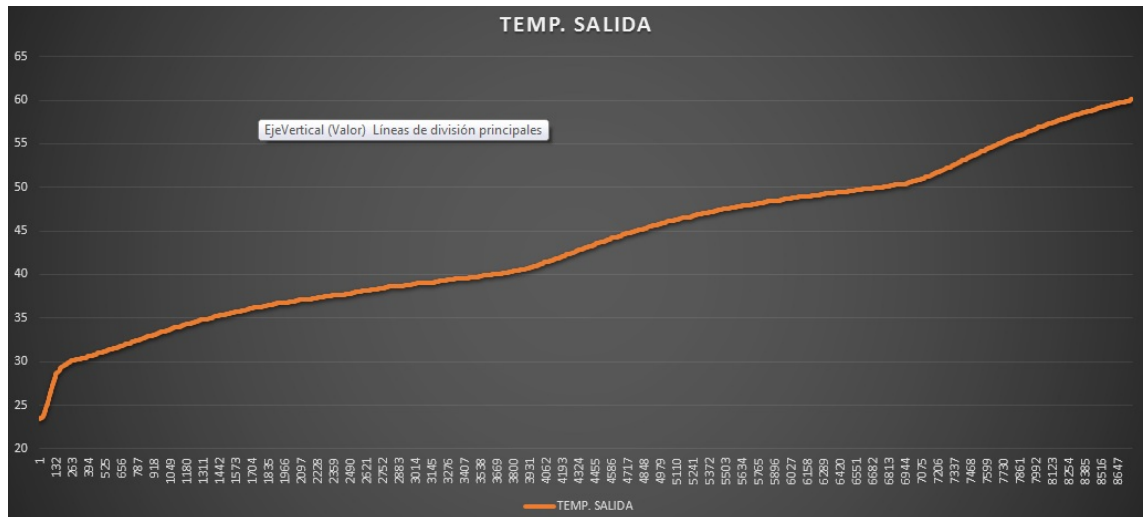


Figura A.61.: Comportamiento promedio temperatura de salida velocidad baja Fan Coil.

A.3.4. Temperatura promedio de entrada, humedad promedio y temperatura promedio de salida.

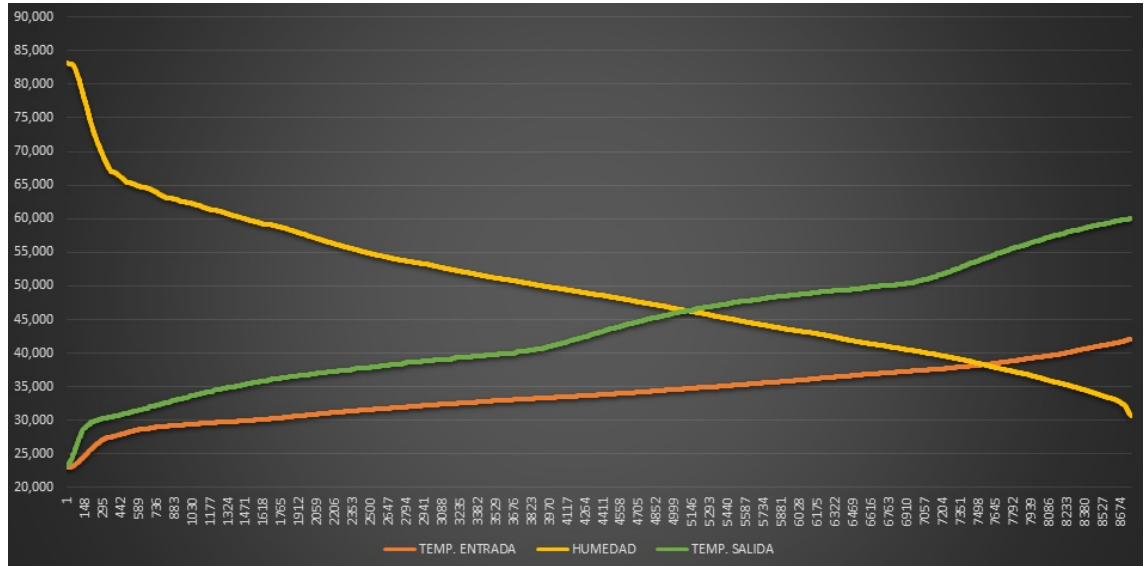


Figura A.62.: Comportamiento promedio temperatura de entrada, humedad y temperatura de salida velocidad baja Fan Coil.

A.3.5. Gráfica Carta Psicrométrica.

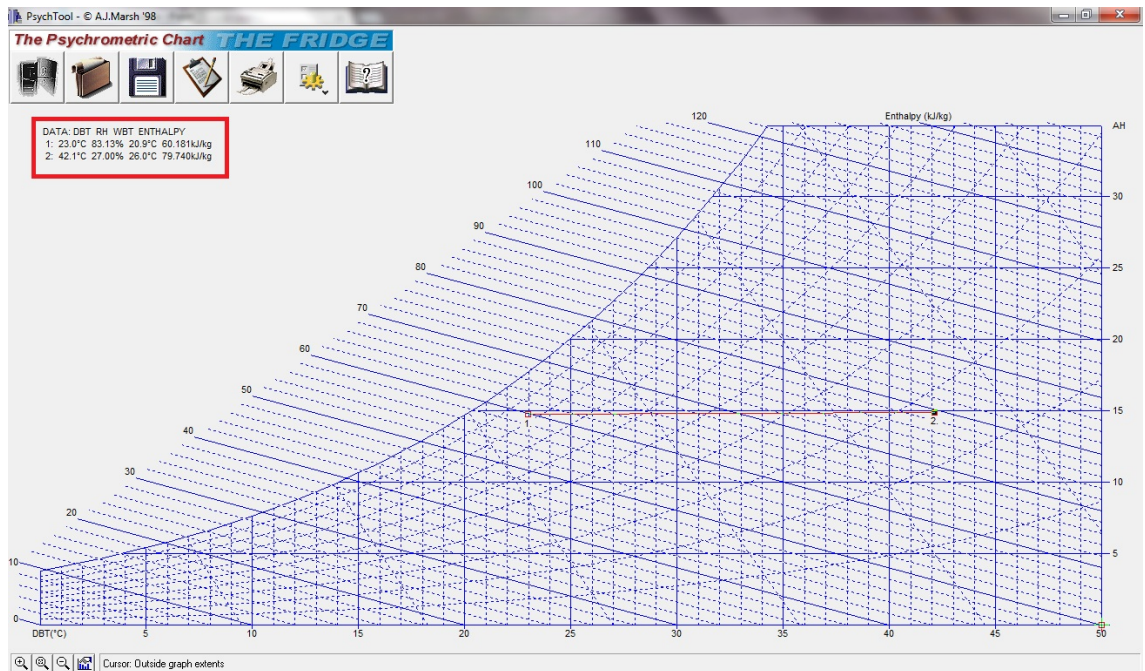


Figura A.63.: Carta psicrométrica velocidad baja Fan Coil.

A.3.6. Valores relativos temperatura y humedad primera prueba.

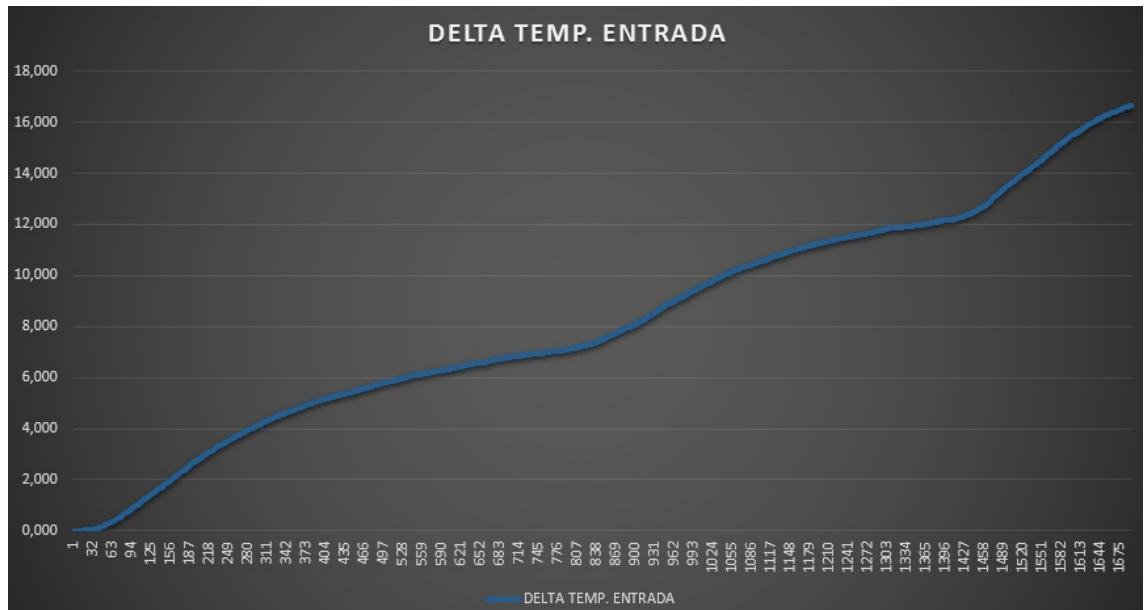


Figura A.64.: Delta temperatura entrada.

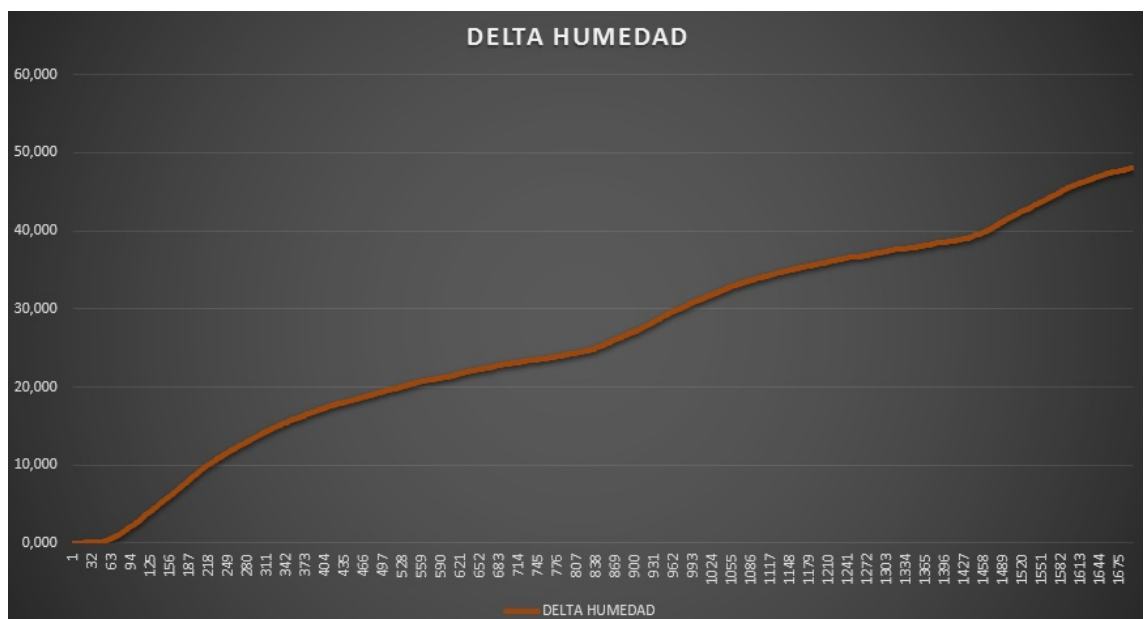


Figura A.65.: Delta humedad.

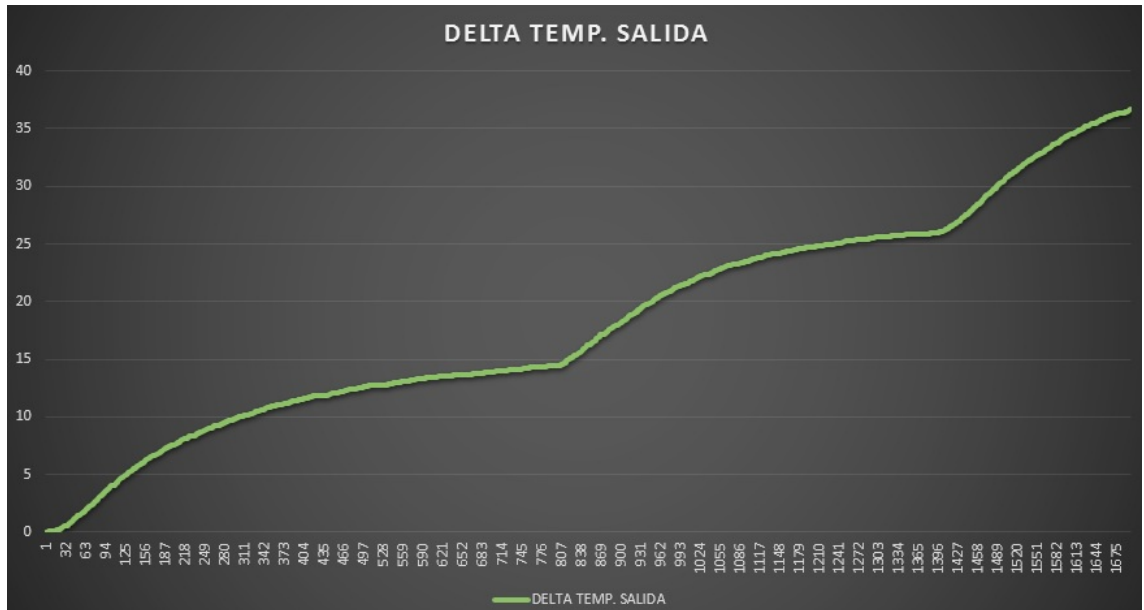


Figura A.66.: Delta temperatura salida.

A.3.7. Valores relativos temperatura y humedad segunda prueba.

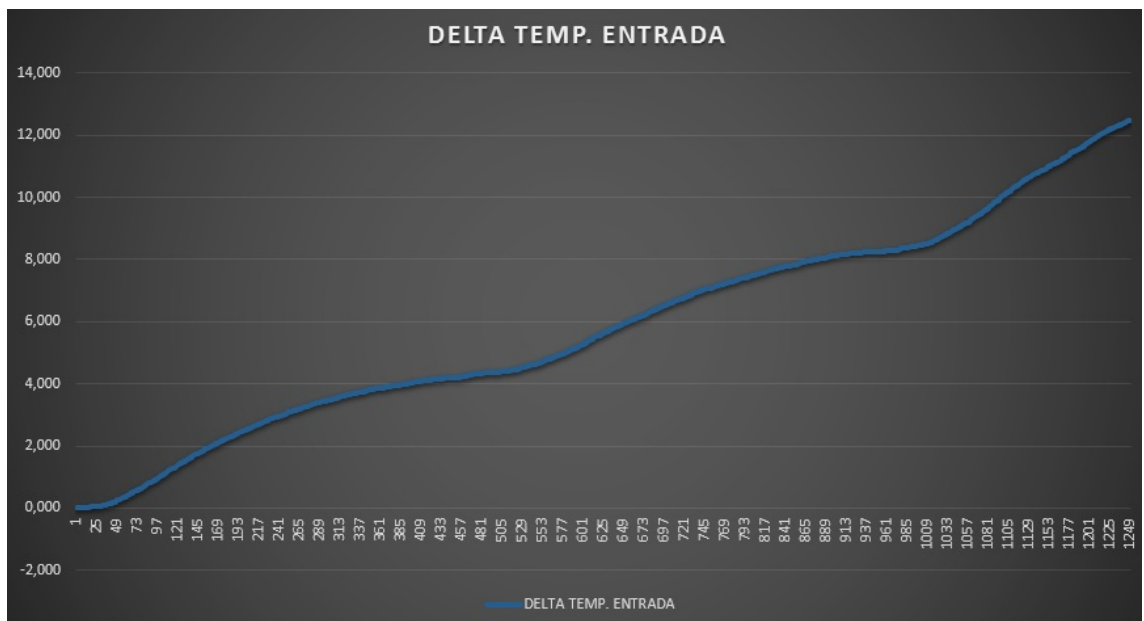


Figura A.67.: Delta temperatura entrada.

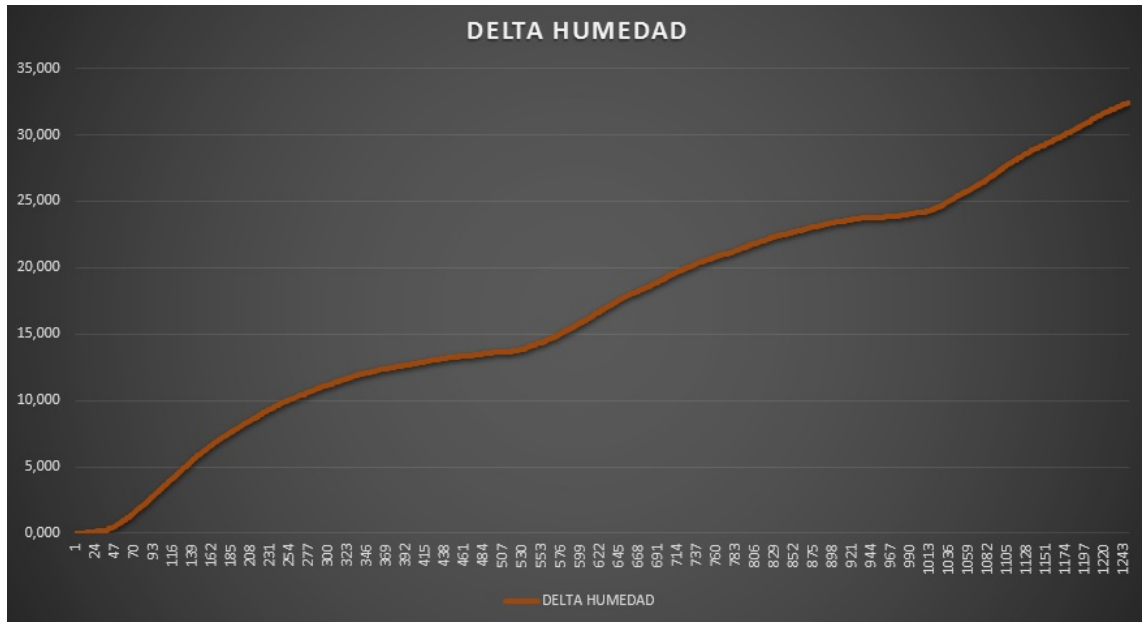


Figura A.68.: Delta humedad.

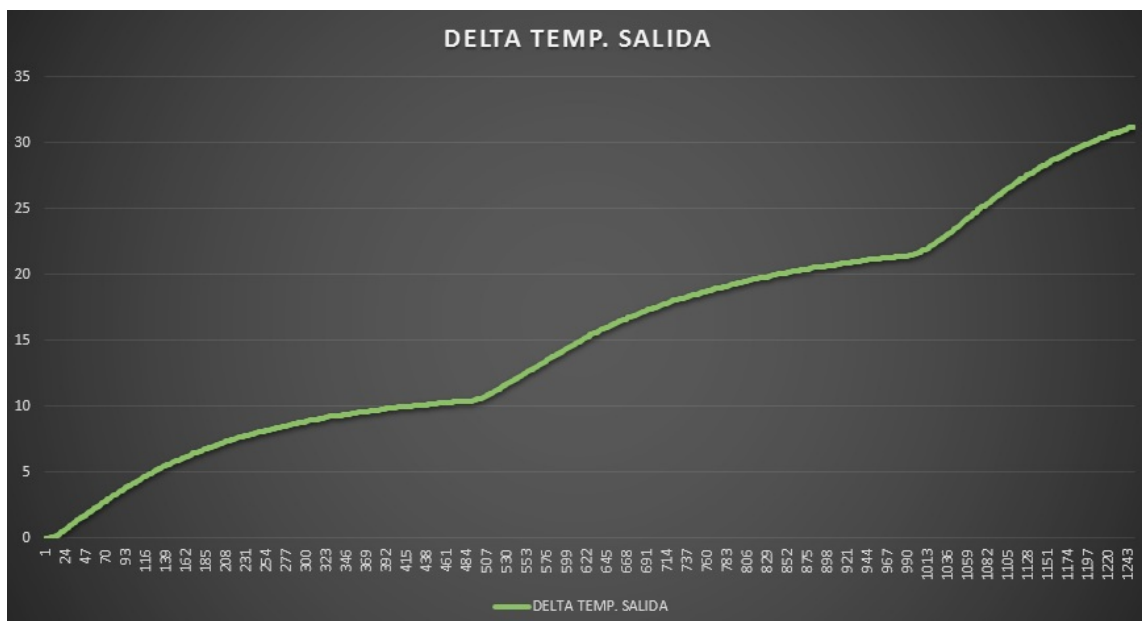


Figura A.69.: Delta temperatura salida.

A.3.8. Valores relativos temperatura y humedad tercera prueba.

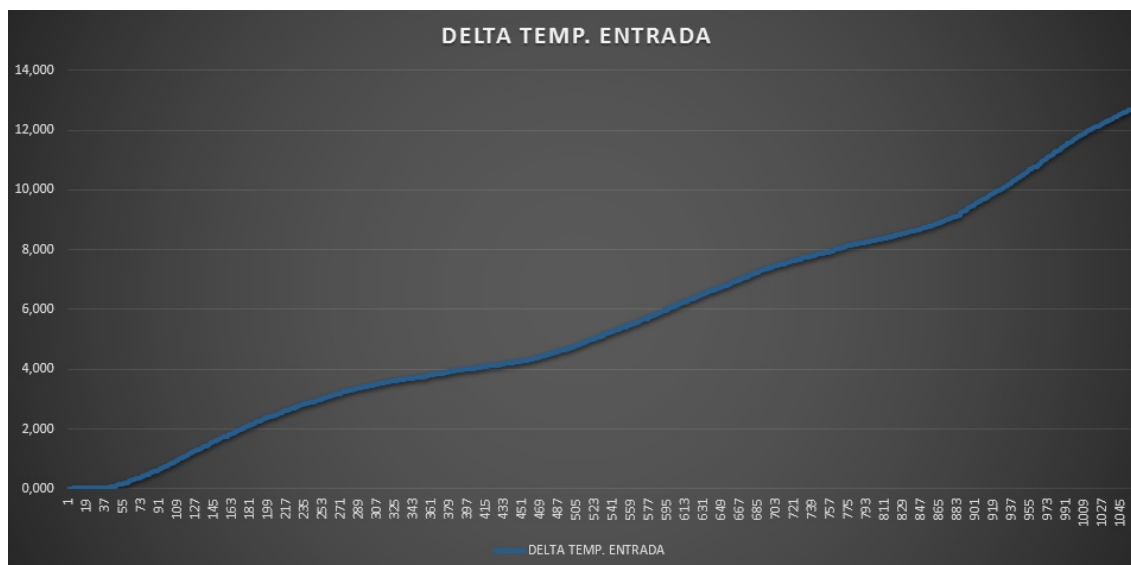


Figura A.70.: Delta temperatura entrada.

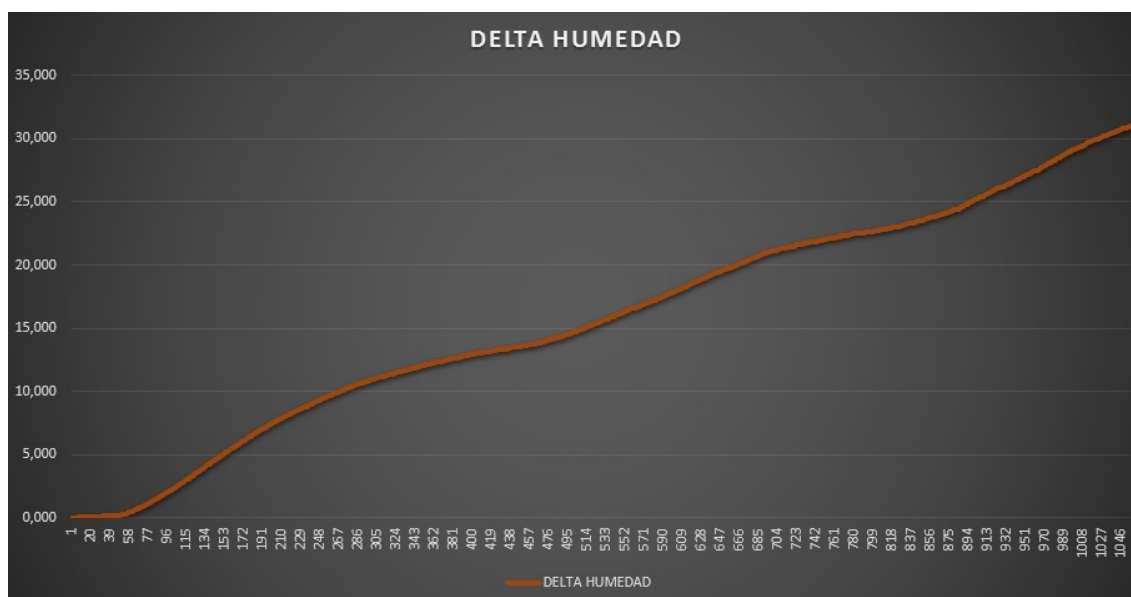


Figura A.71.: Delta de humedad.

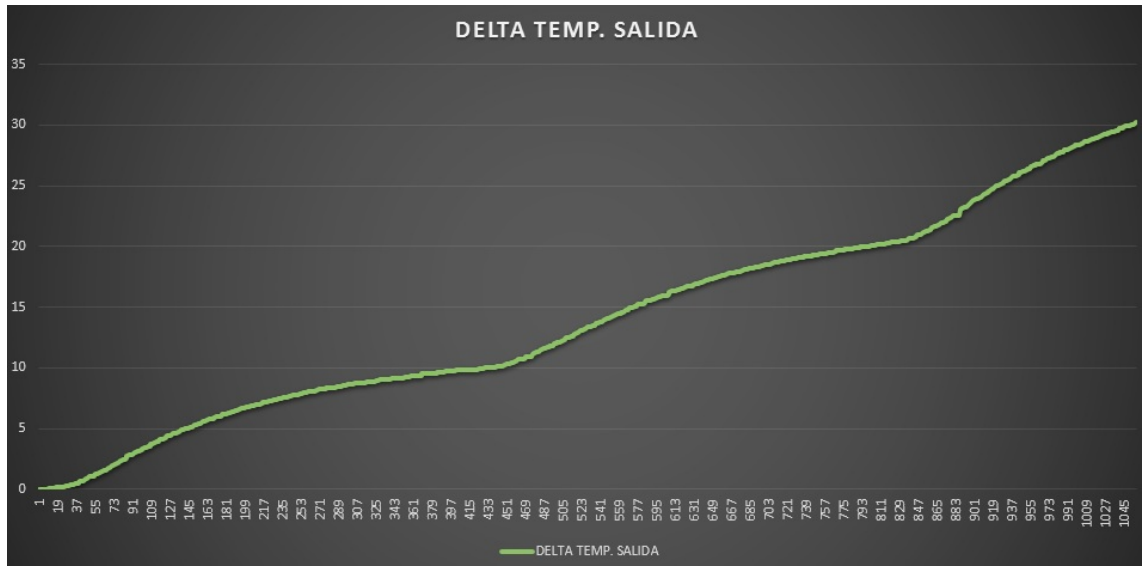


Figura A.72.: Delta temperatura salida.

A.3.9. Valores relativos temperatura y humedad cuarta prueba.

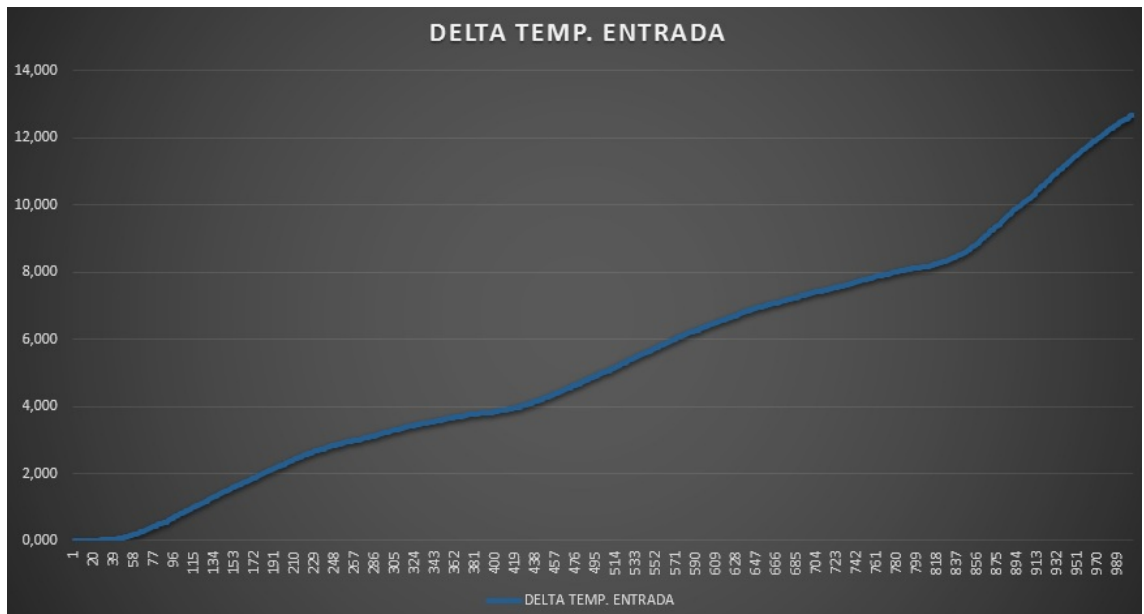


Figura A.73.: Delta temperatura entrada.

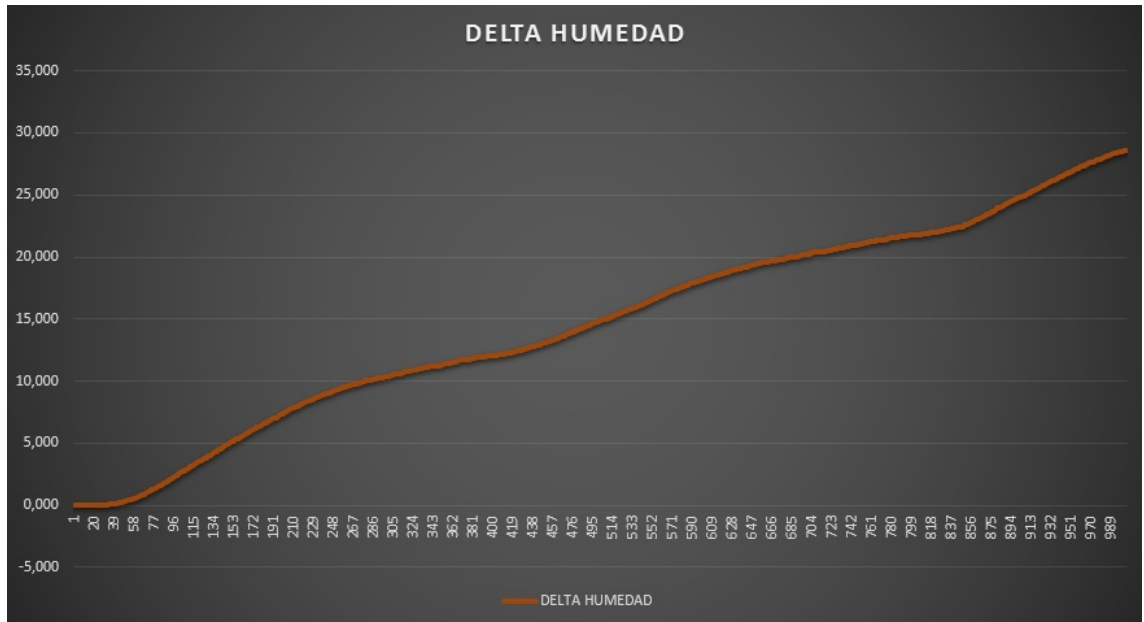


Figura A.74.: Delta humedad.

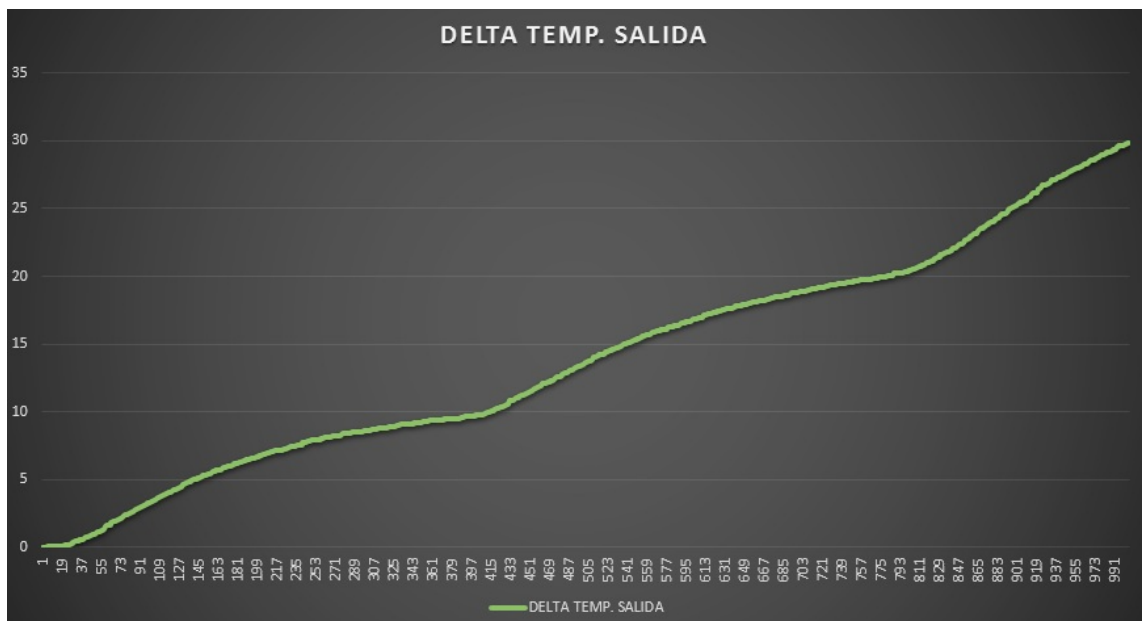


Figura A.75.: Delta temperatura salida.

A.3.10. Valores relativos temperatura y humedad quinta prueba.

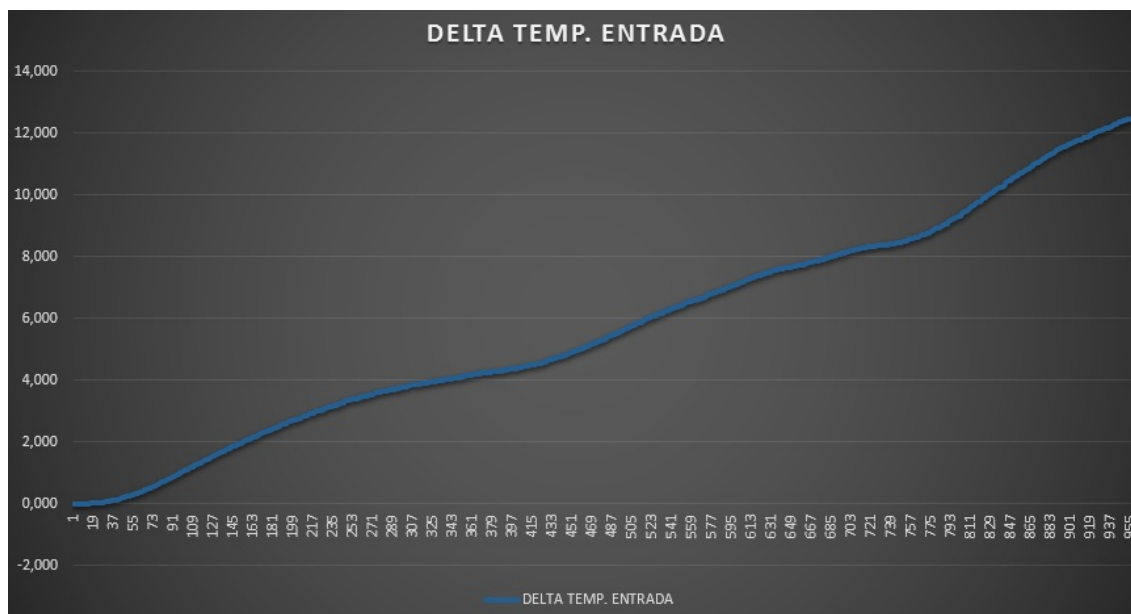


Figura A.76.: Delta temperatura entrada.

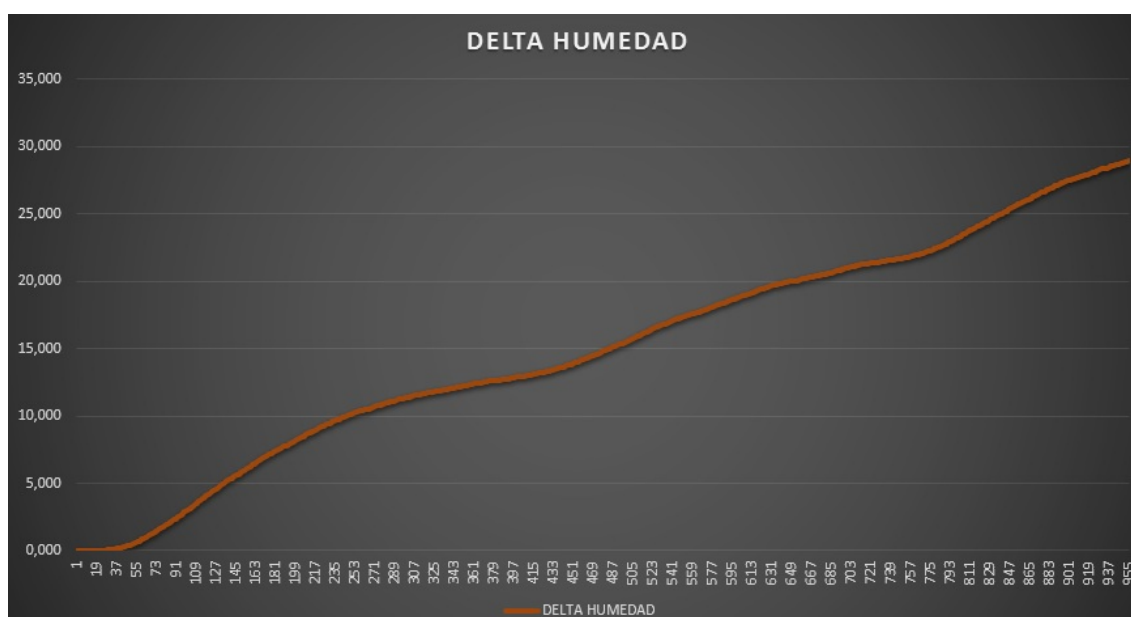


Figura A.77.: Delta humedad.

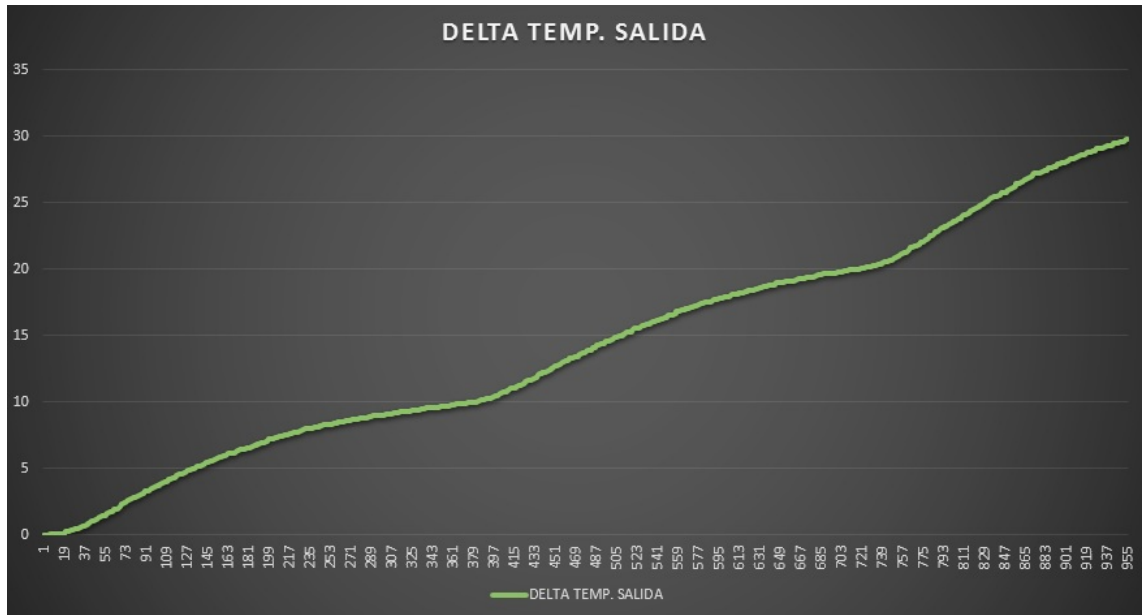


Figura A.78.: Delta temperatura salida.

A.3.11. Valores relativos temperatura y humedad sexta prueba.

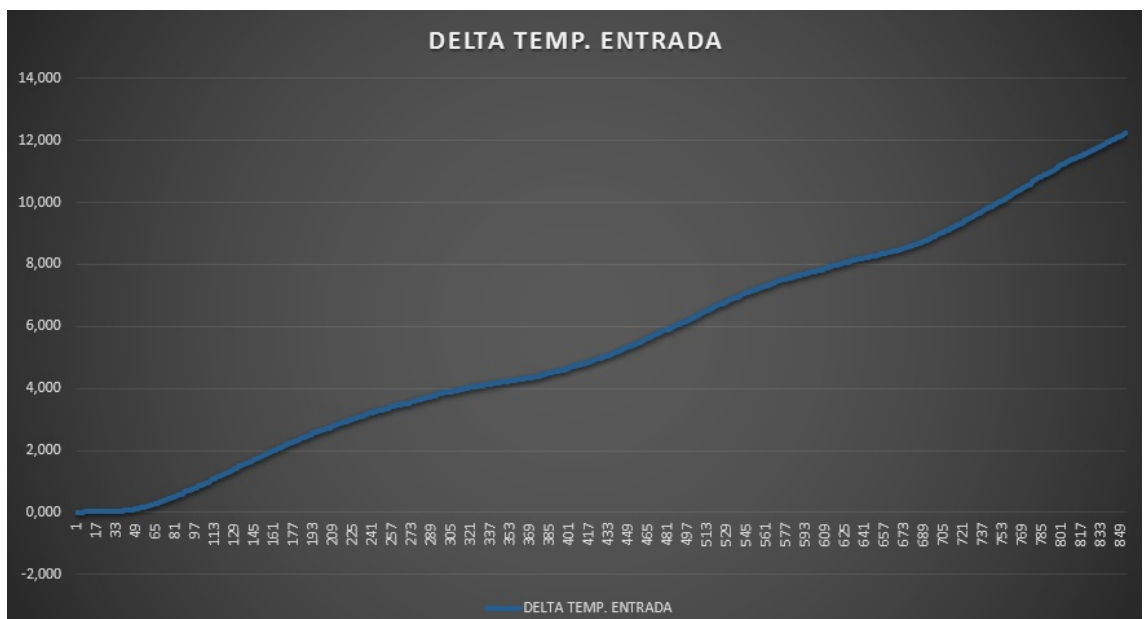


Figura A.79.: Delta temperatura entrada.

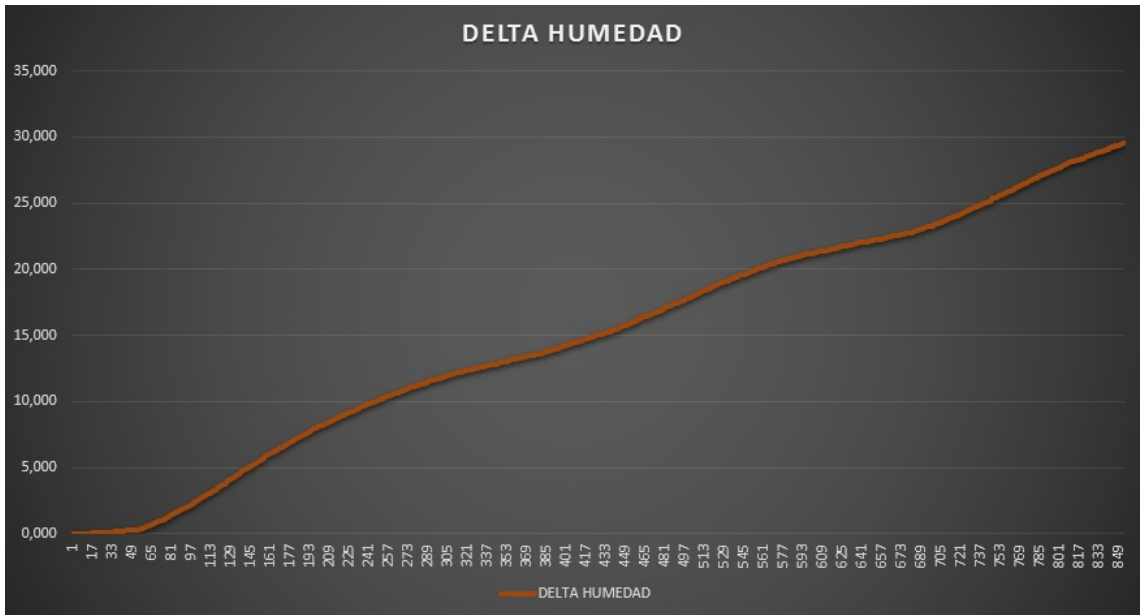


Figura A.80.: Delta humedad.

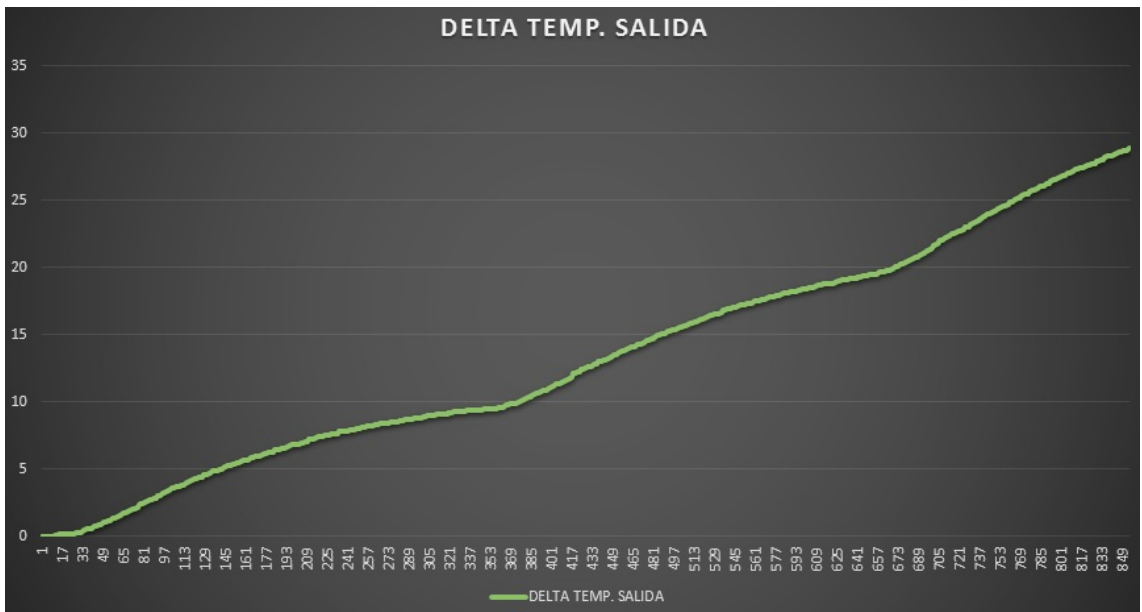


Figura A.81.: Delta temperatura salida.

A.3.12. Valores relativos temperatura y humedad séptima prueba.

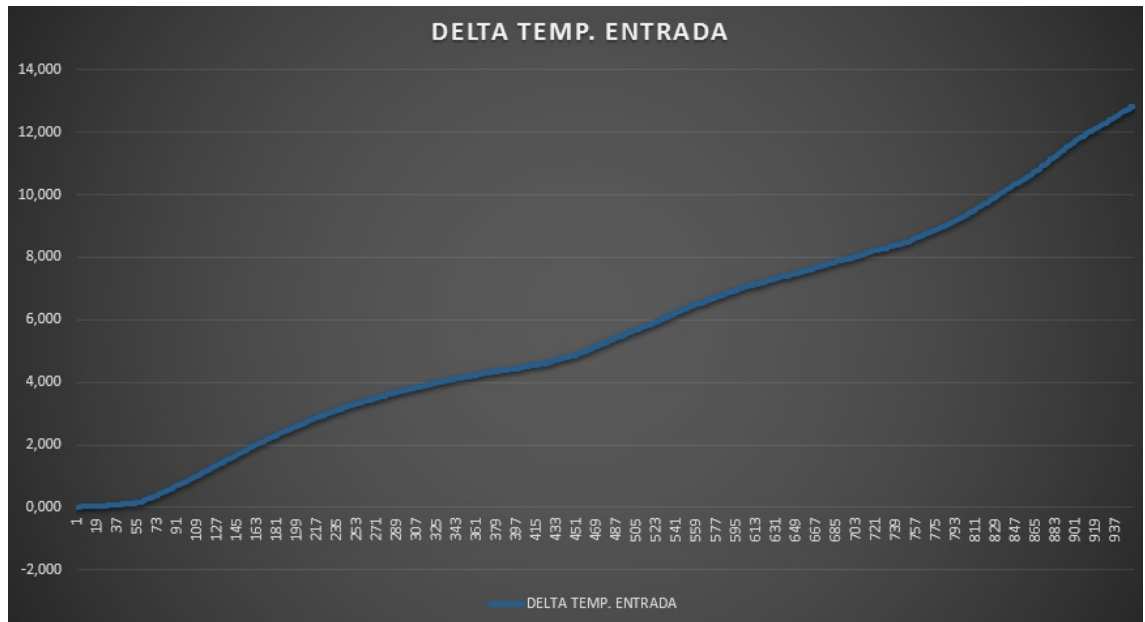


Figura A.82.: Delta temperatura entrada.

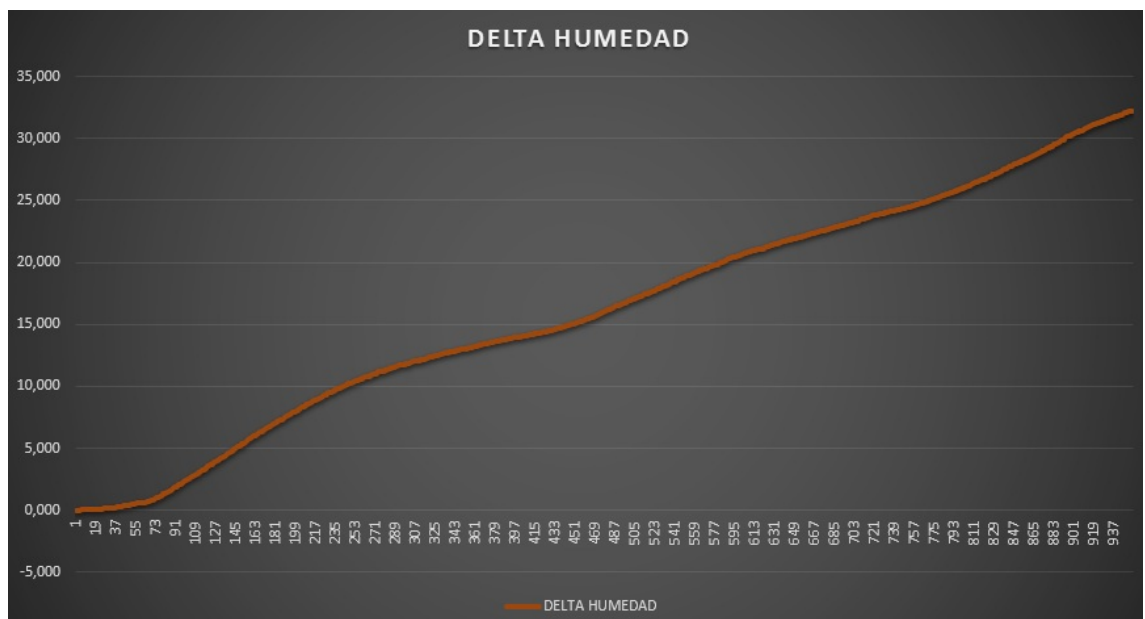


Figura A.83.: Delta humedad.

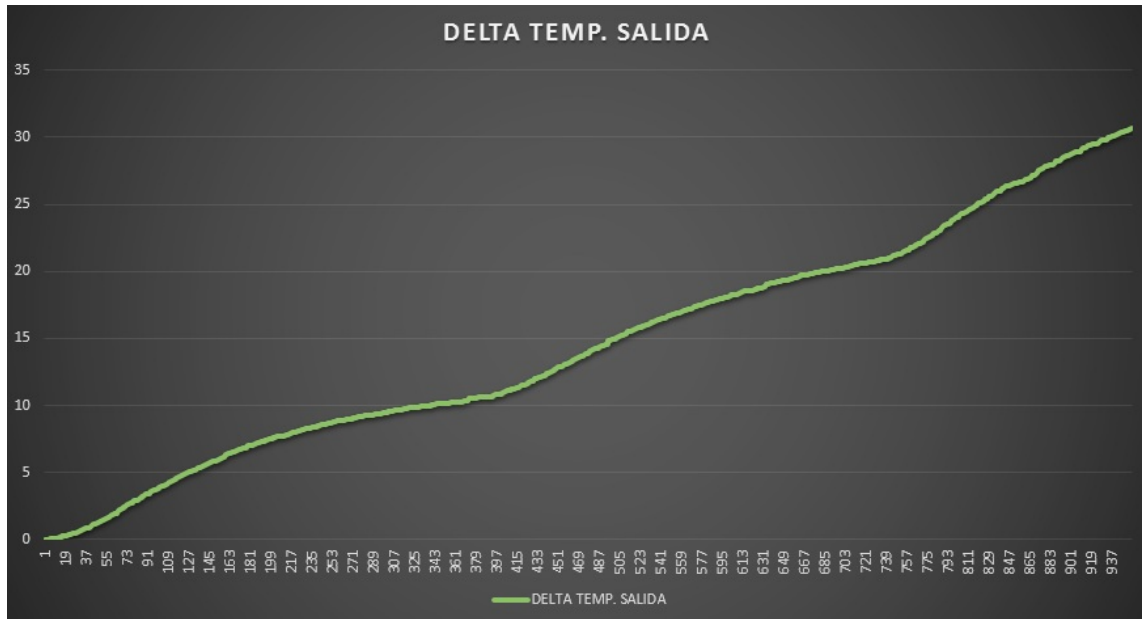


Figura A.84.: Delta temperatura salida.

A.3.13. Valores relativos temperatura y humedad octava prueba.

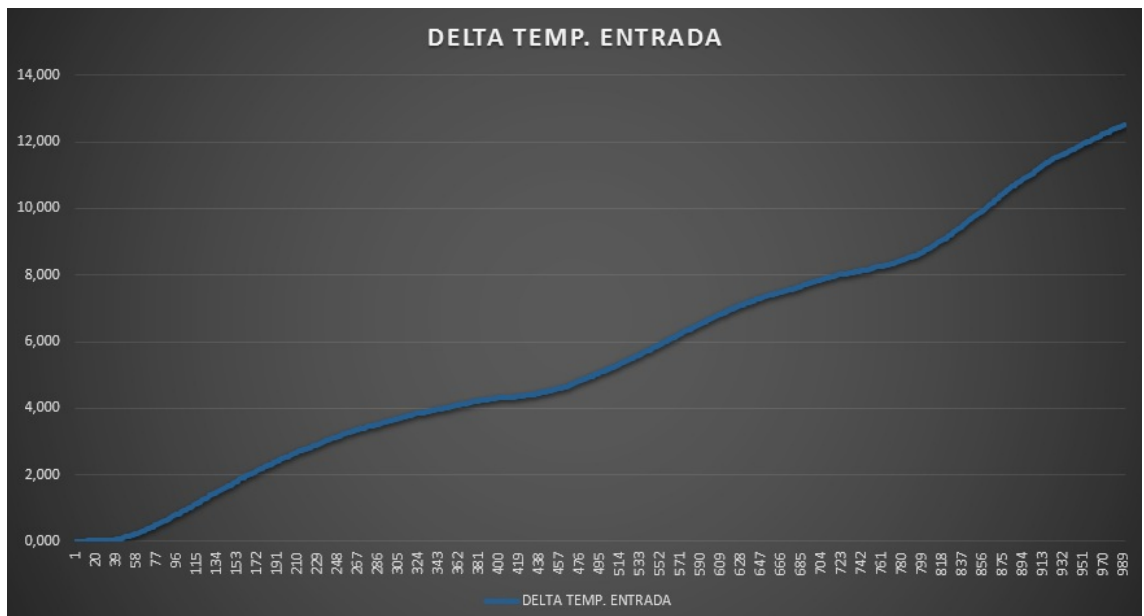


Figura A.85.: Delta temperatura entrada.

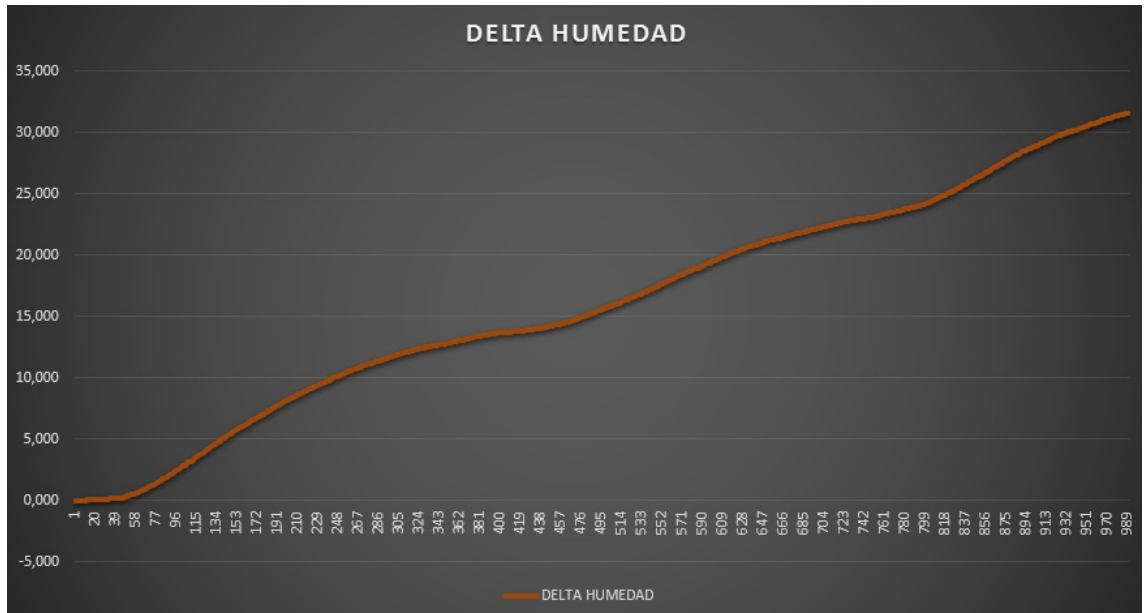


Figura A.86.: Delta humedad.

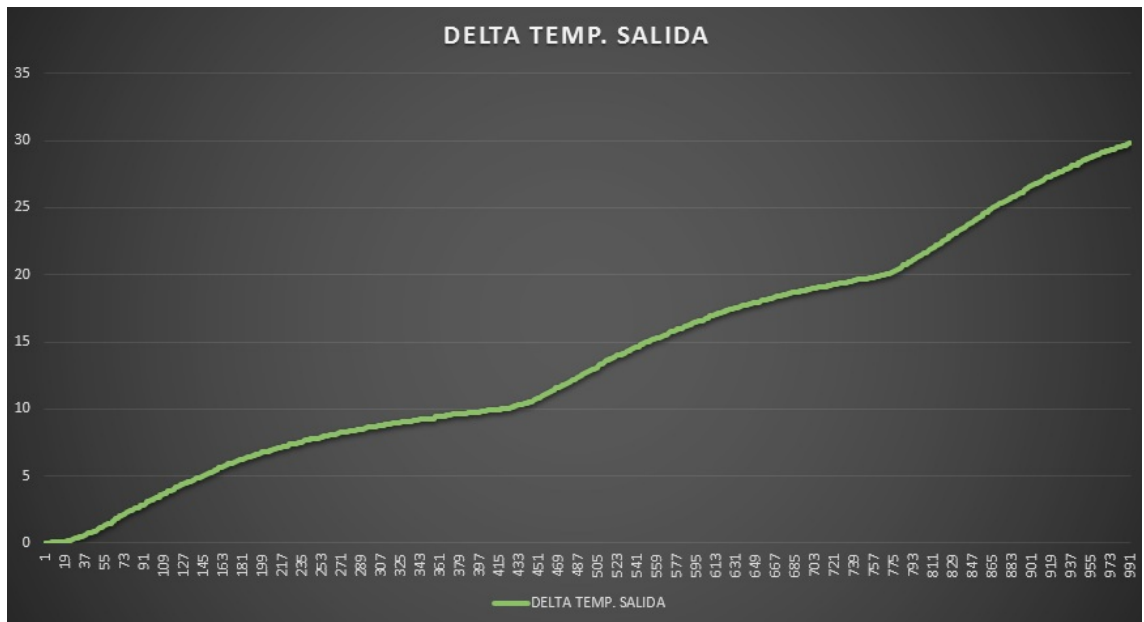


Figura A.87.: Delta temperatura salida.

B. ANEXO: EMULACIÓN DE PISOS TÉRMICOS

B.1. Emulación de la temperatura y la humedad de Barrancabermeja.

B.1.1. Temperatura promedio de entrada.

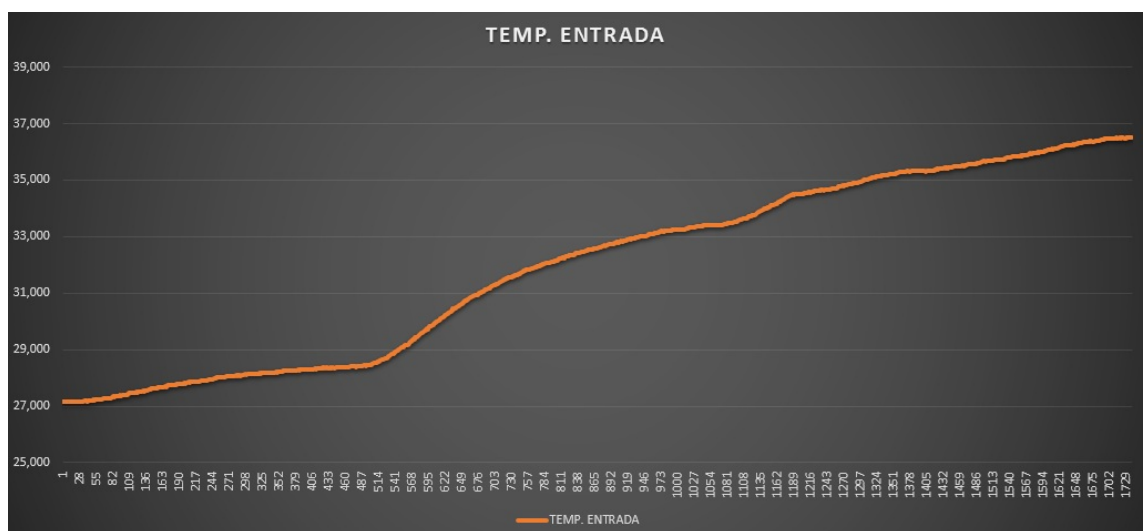


Figura B.1.: Comportamiento promedio temperatura de entrada Clima Barrancabermeja.

B.1.2. Humedad promedio.

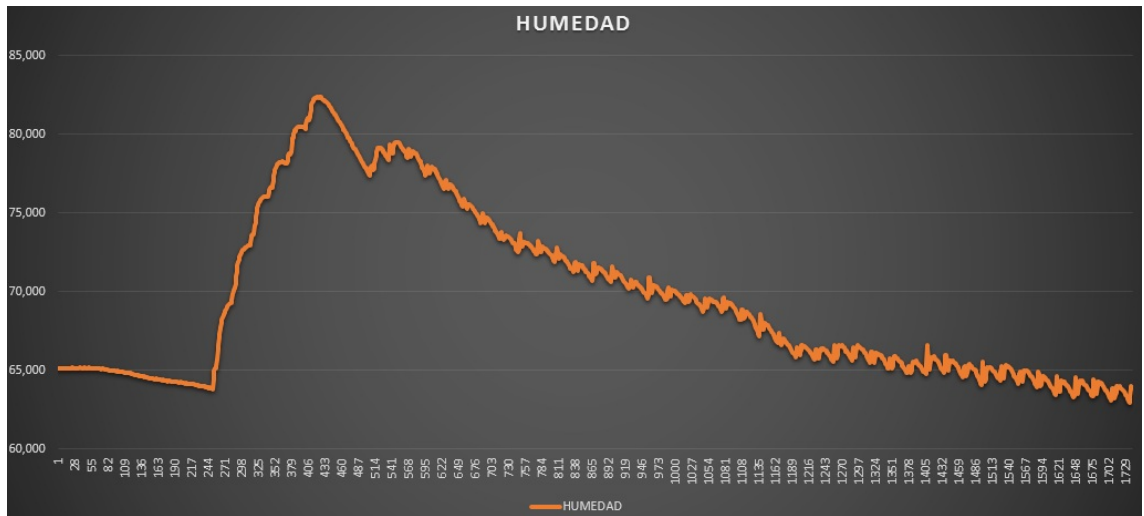


Figura B.2.: Comportamiento promedio humedad Clima Barrancabermeja.

B.1.3. Temperatura promedio de salida.

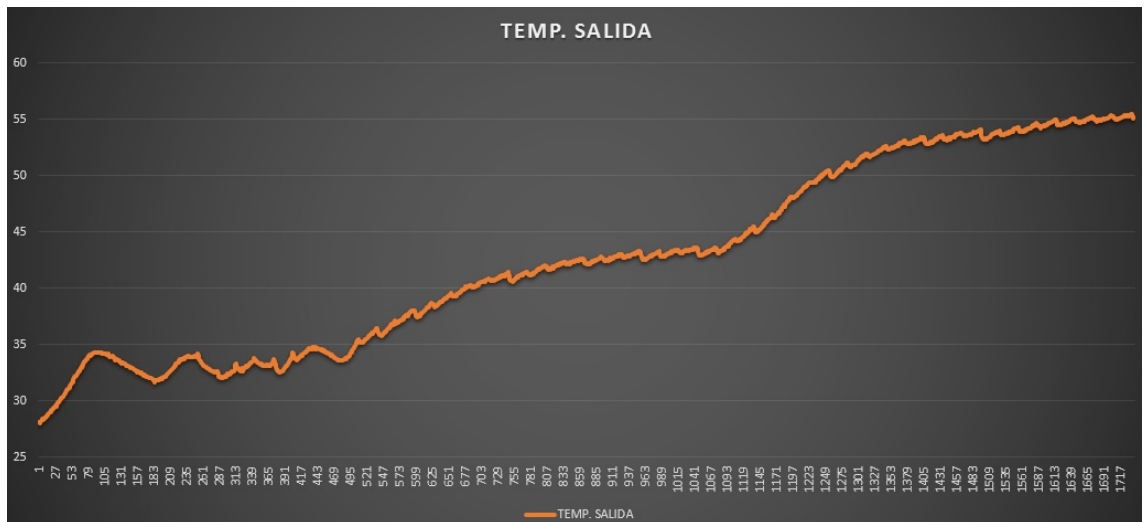


Figura B.3.: Comportamiento promedio temperatura de salida Clima Barrancabermeja.

B.1.4. Temperatura promedio de entrada, humedad promedio y temperatura promedio de salida.

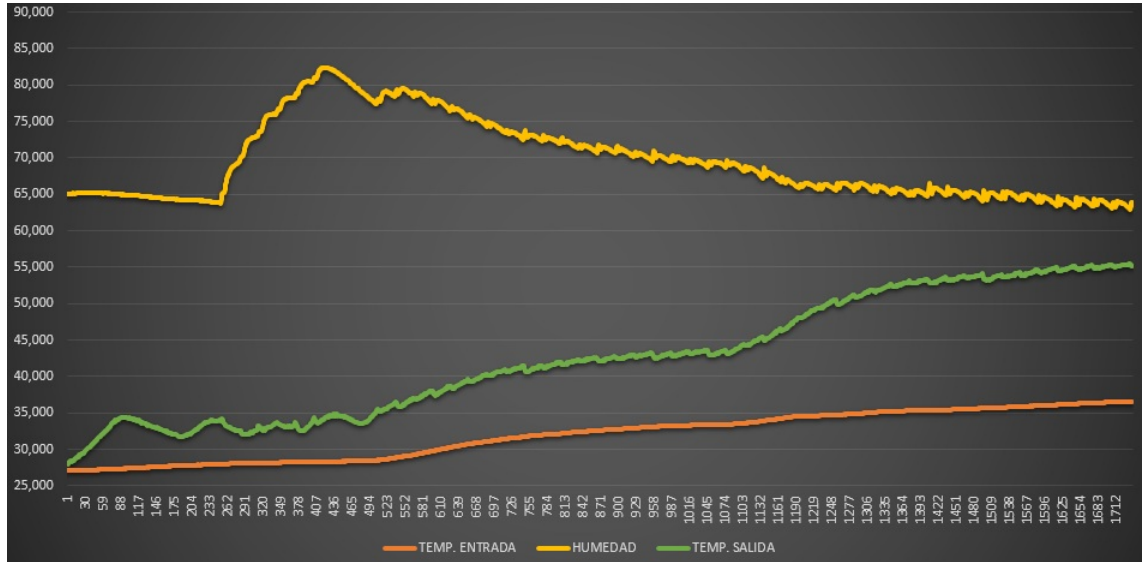


Figura B.4.: Comportamiento promedio temperatura de entrada, humedad y temperatura de salida Clima Barrancabermeja.

B.1.5. Gráfica Carta Psicrométrica.

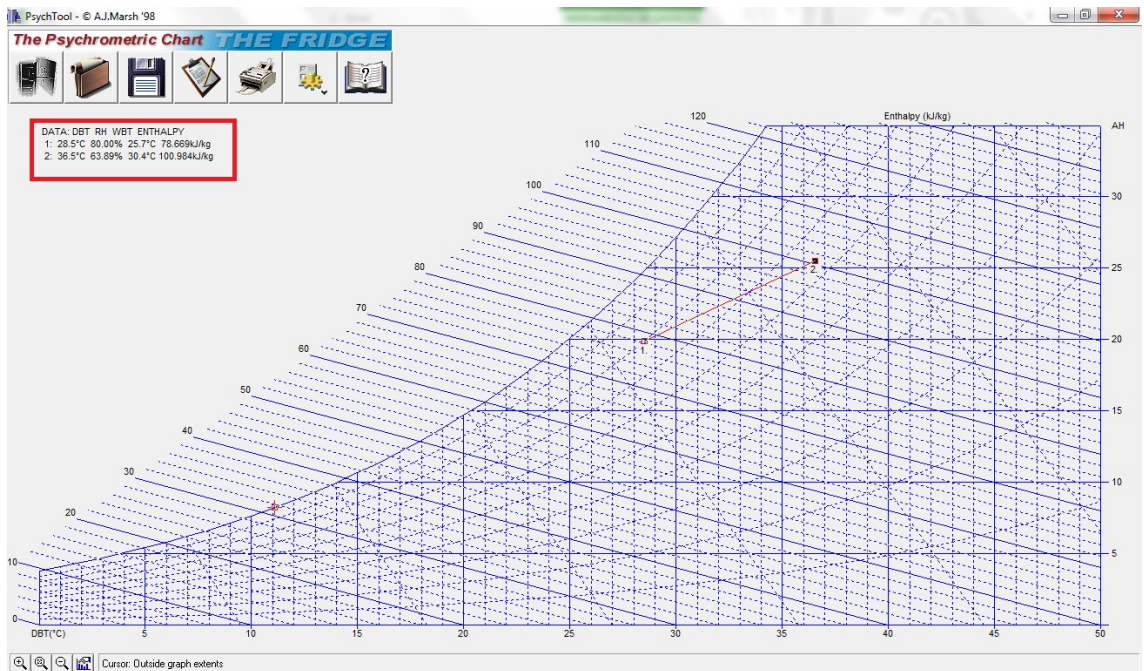


Figura B.5.: Carta psicrométrica clima Barrancabermeja.

B.1.6. Valores relativos temperatura y humedad primera prueba.

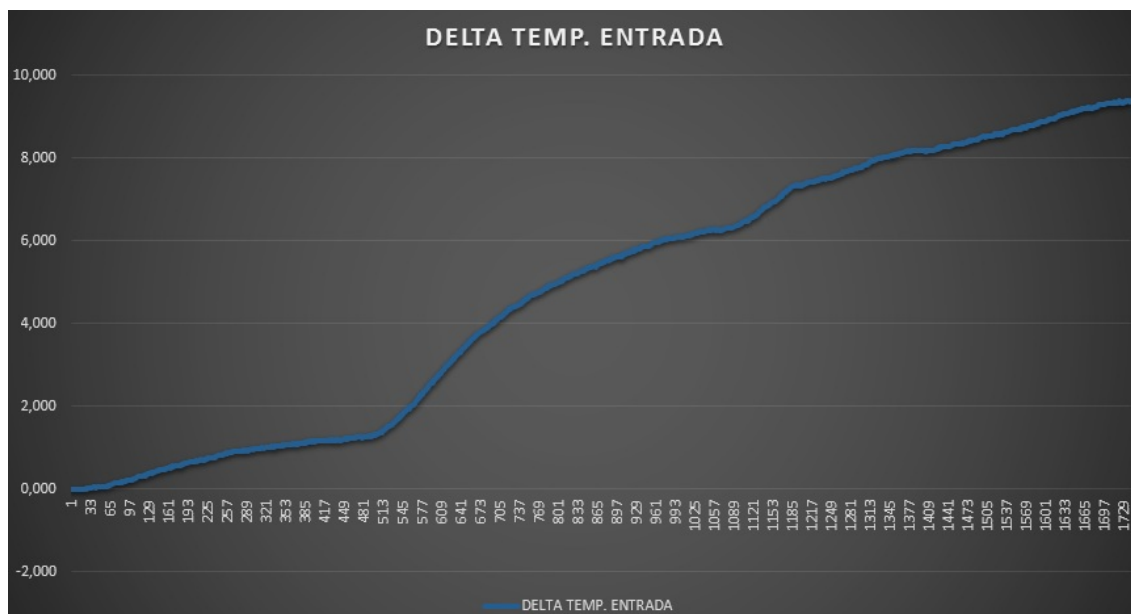


Figura B.6.: Delta temperatura entrada.

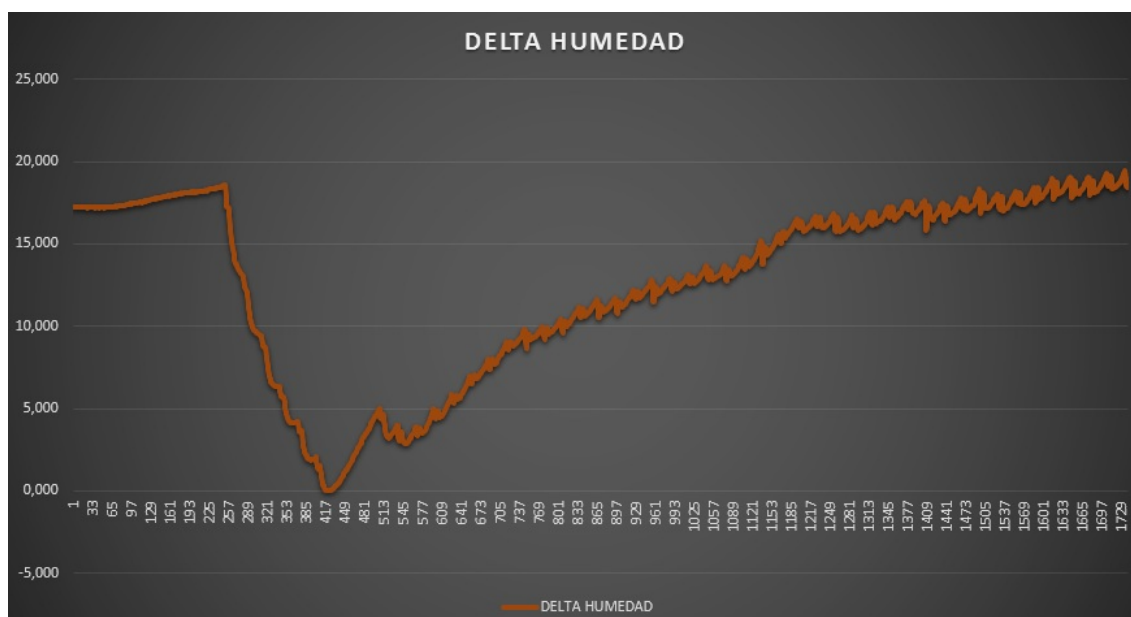


Figura B.7.: Delta humedad.

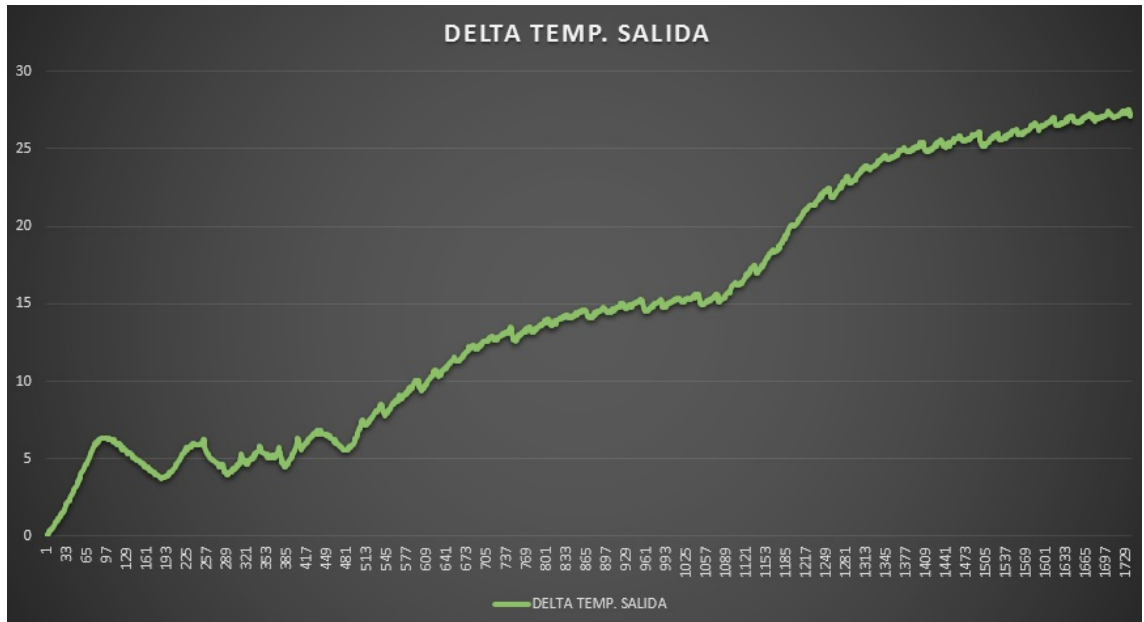


Figura B.8.: Delta de temperatura salida.

B.1.7. Valores relativos temperatura y humedad segunda prueba.

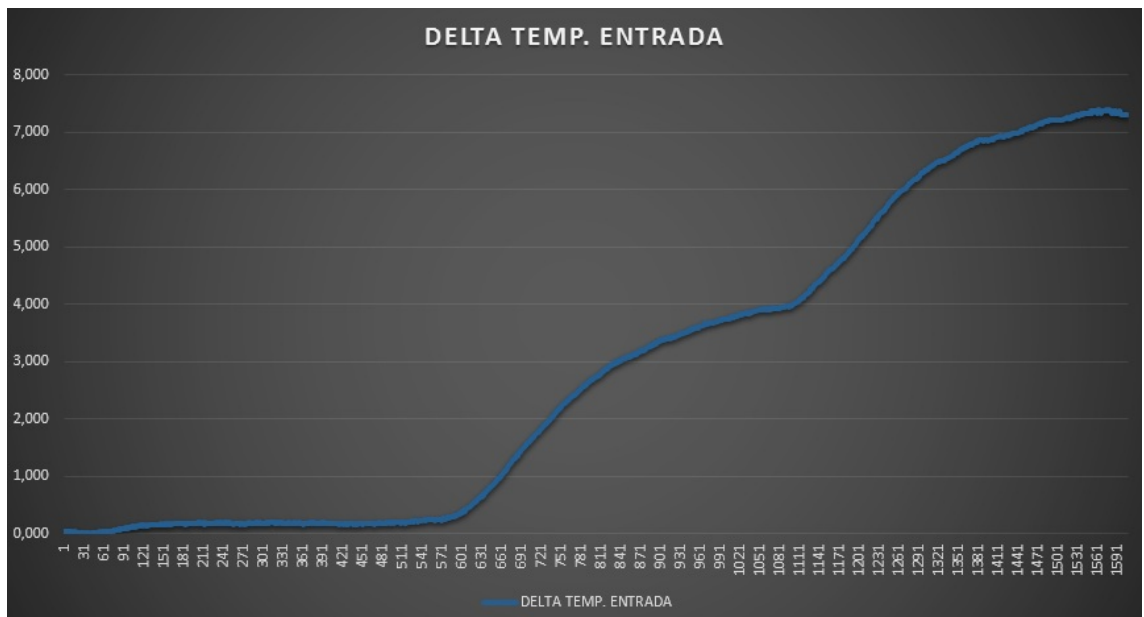


Figura B.9.: Delta temperatura entrada.

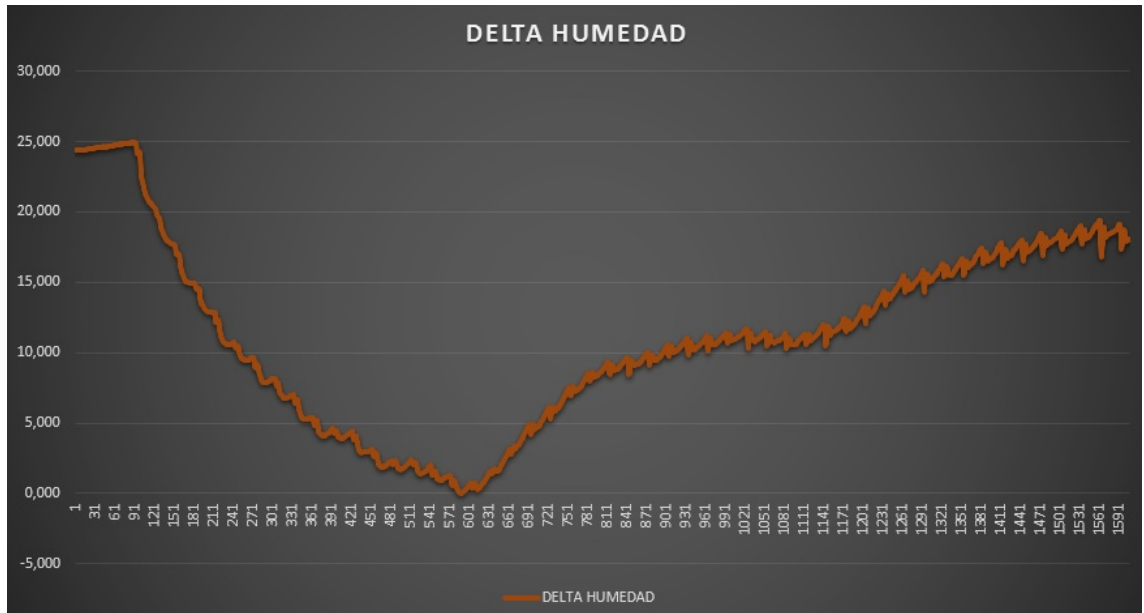


Figura B.10.: Delta humedad.

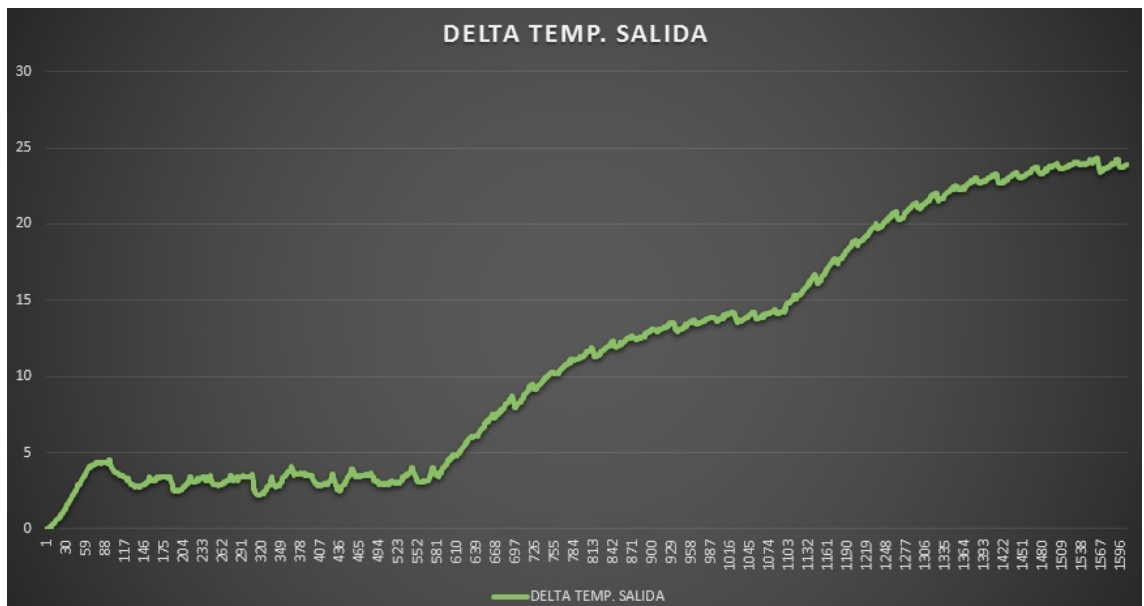


Figura B.11.: Delta temperatura salida.

B.1.8. Valores relativos temperatura y humedad tercera prueba.

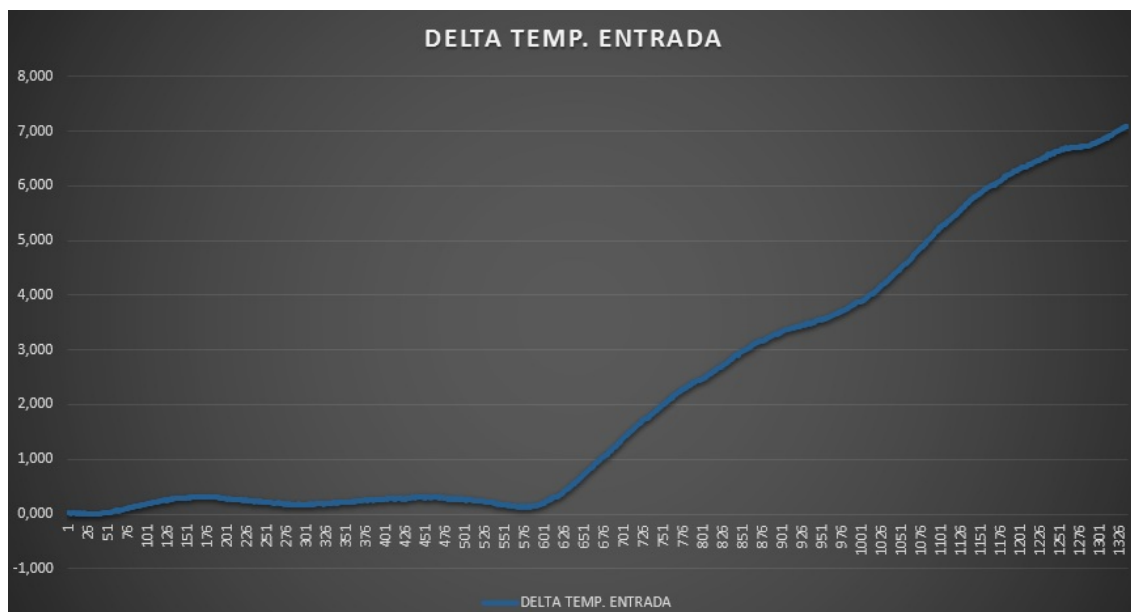


Figura B.12.: Delta temperatura entrada.

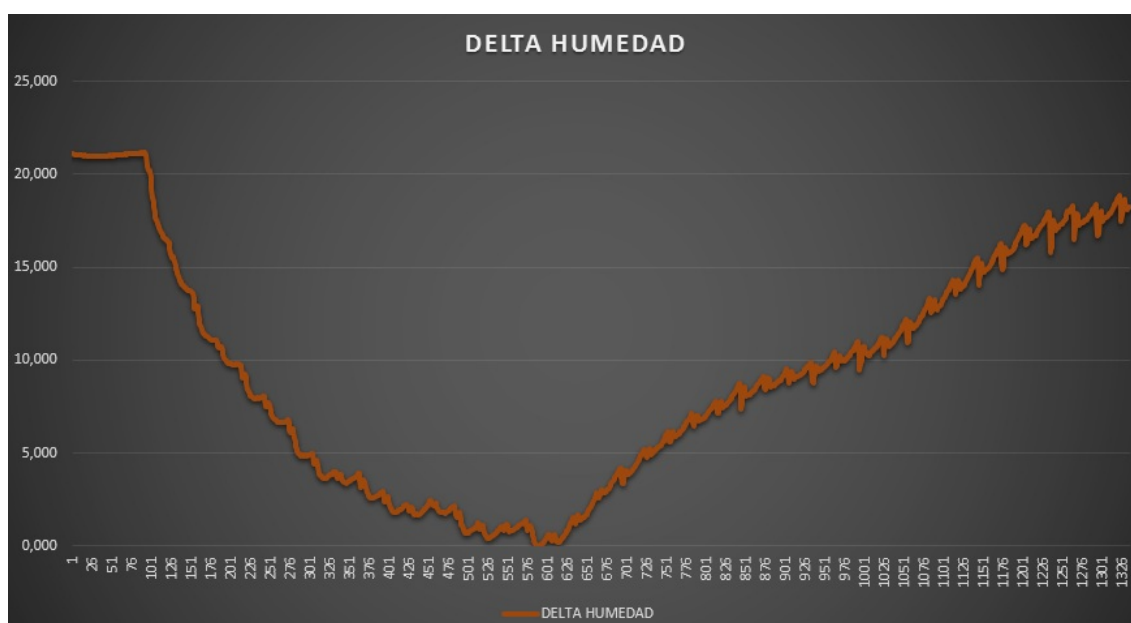


Figura B.13.: Delta humedad.

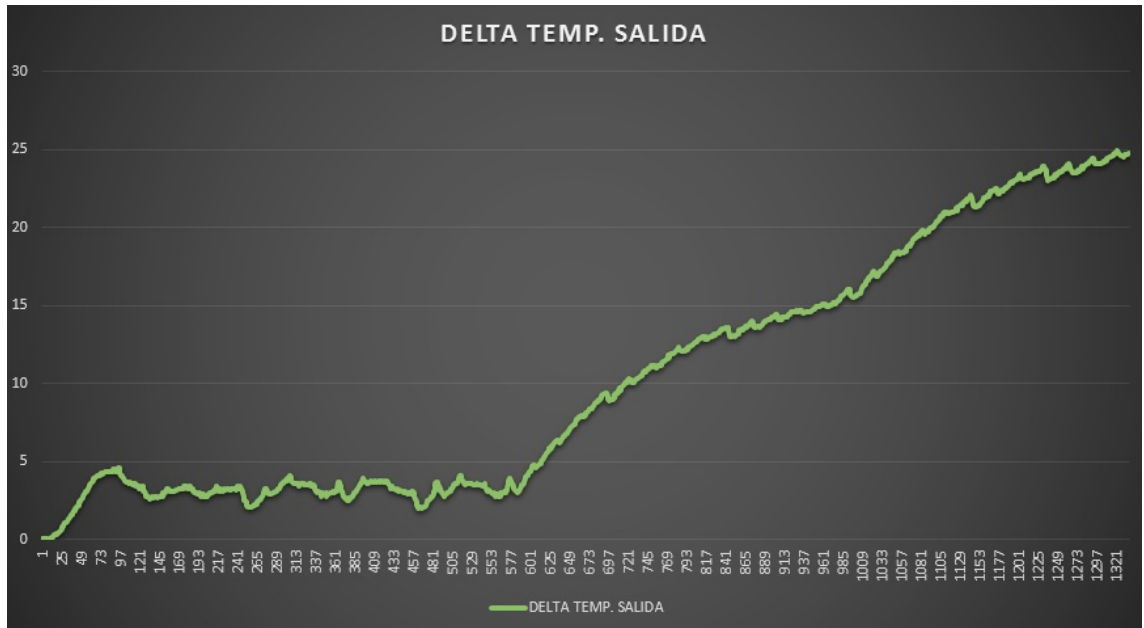


Figura B.14.: Delta temperatura salida.

B.1.9. Valores relativos temperatura y humedad cuarta prueba.

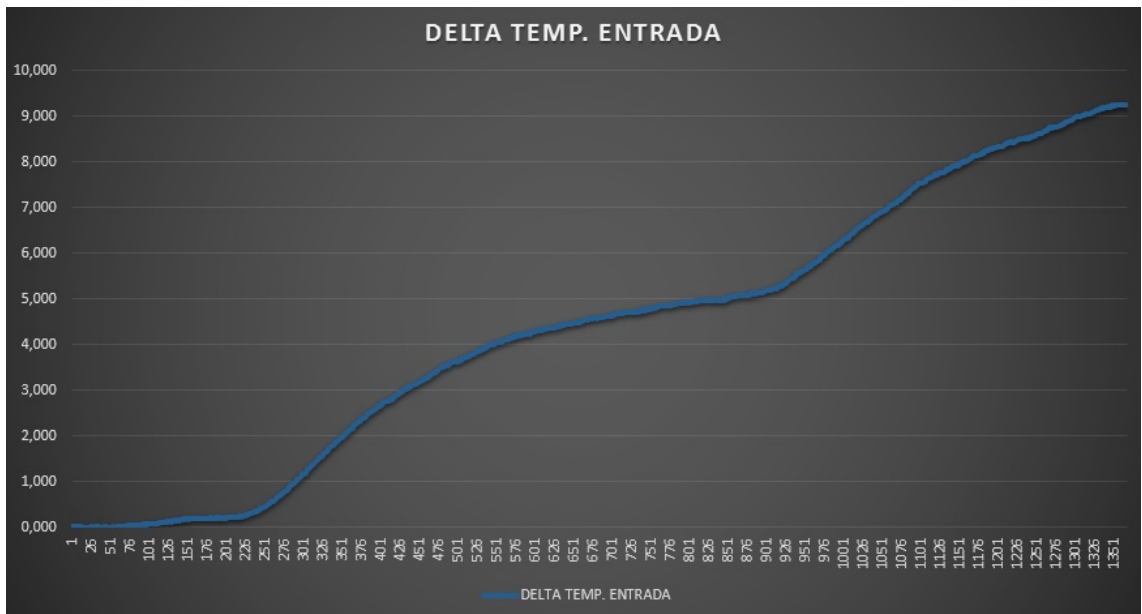


Figura B.15.: Delta temperatura entrada.

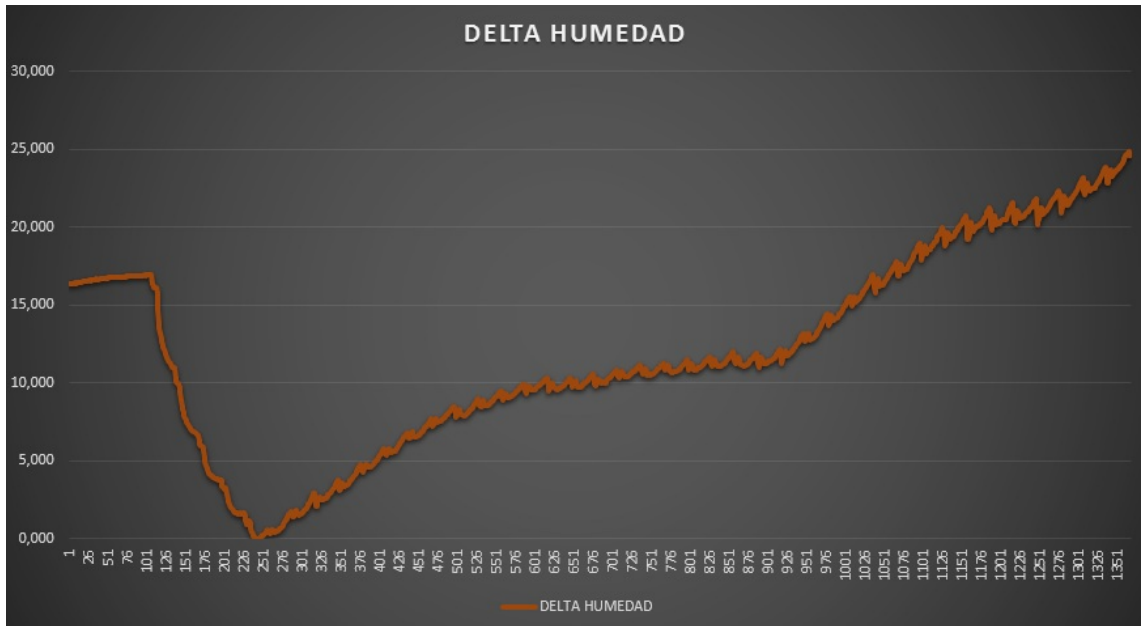


Figura B.16.: Delta humedad.

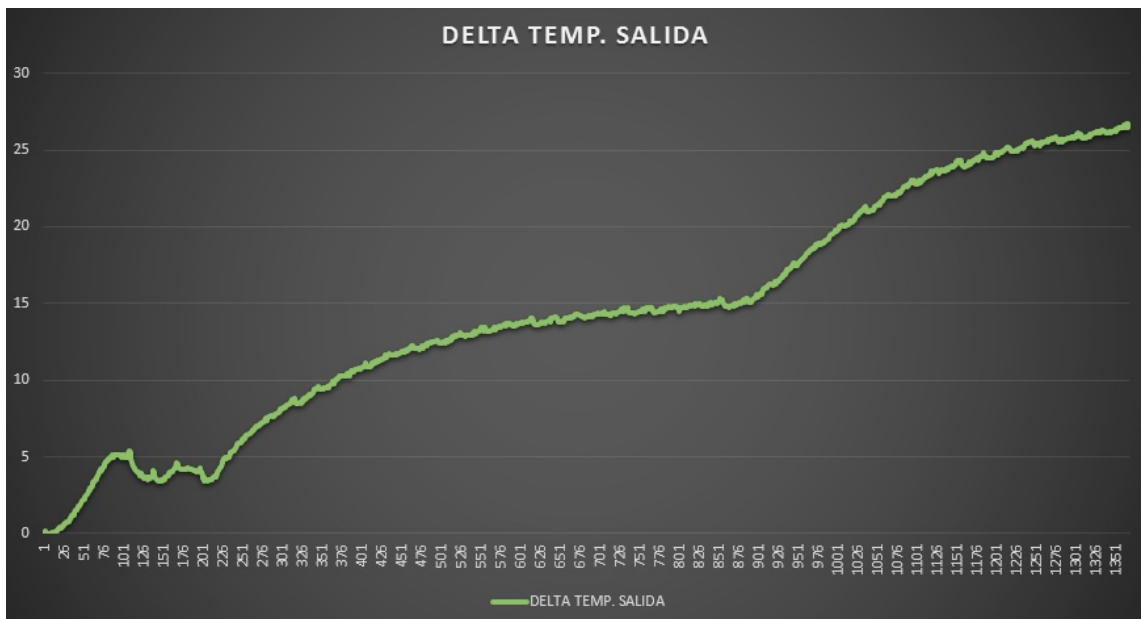


Figura B.17.: Delta temperatura salida.

B.1.10. Valores relativos temperatura y humedad quinta prueba.

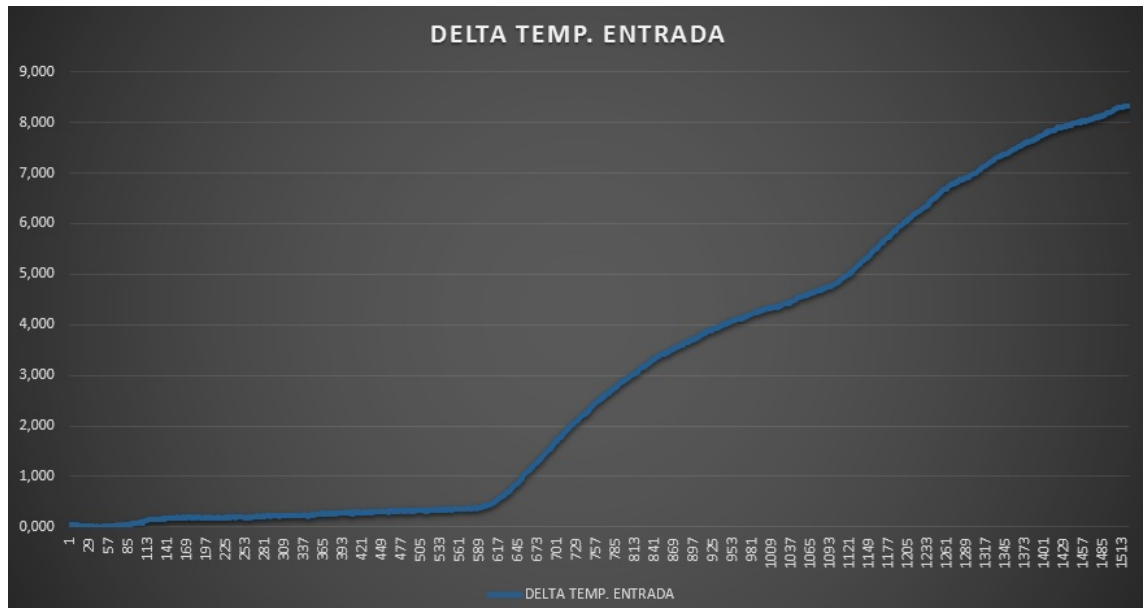


Figura B.18.: Delta temperatura entrada.

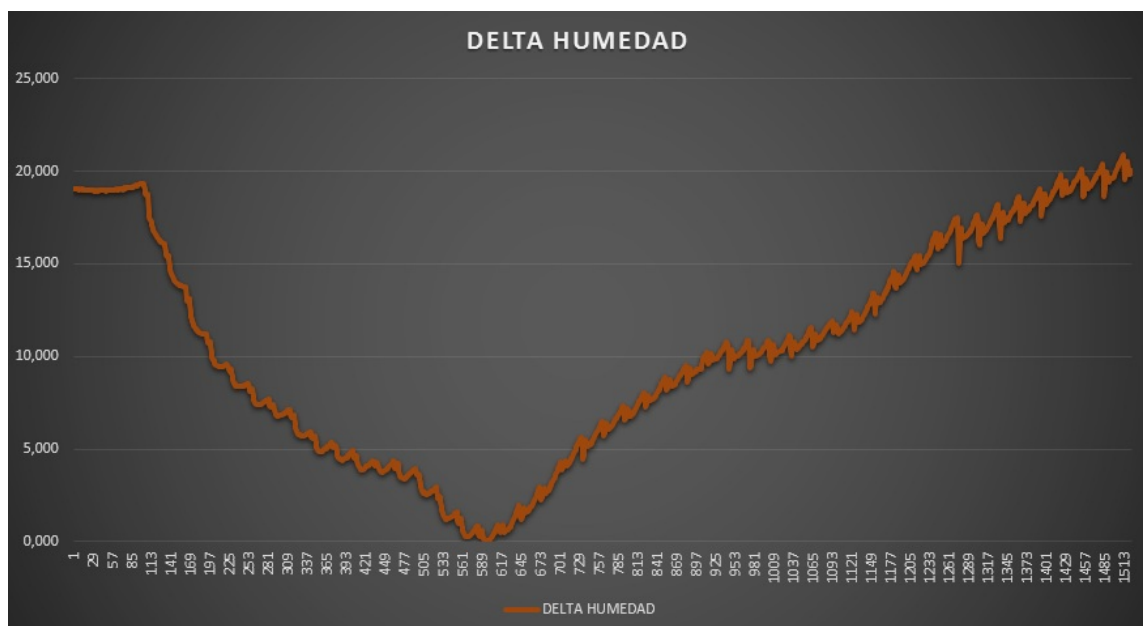


Figura B.19.: Delta humedad.

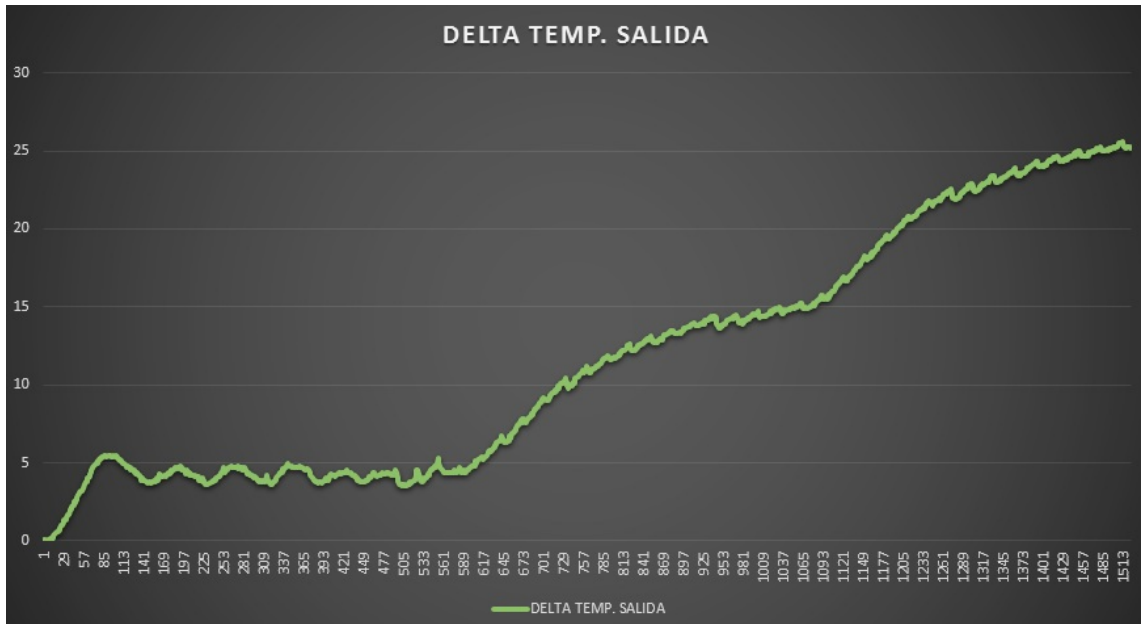


Figura B.20.: Delta temperatura salida.

B.1.11. Valores relativos temperatura y humedad sexta prueba.

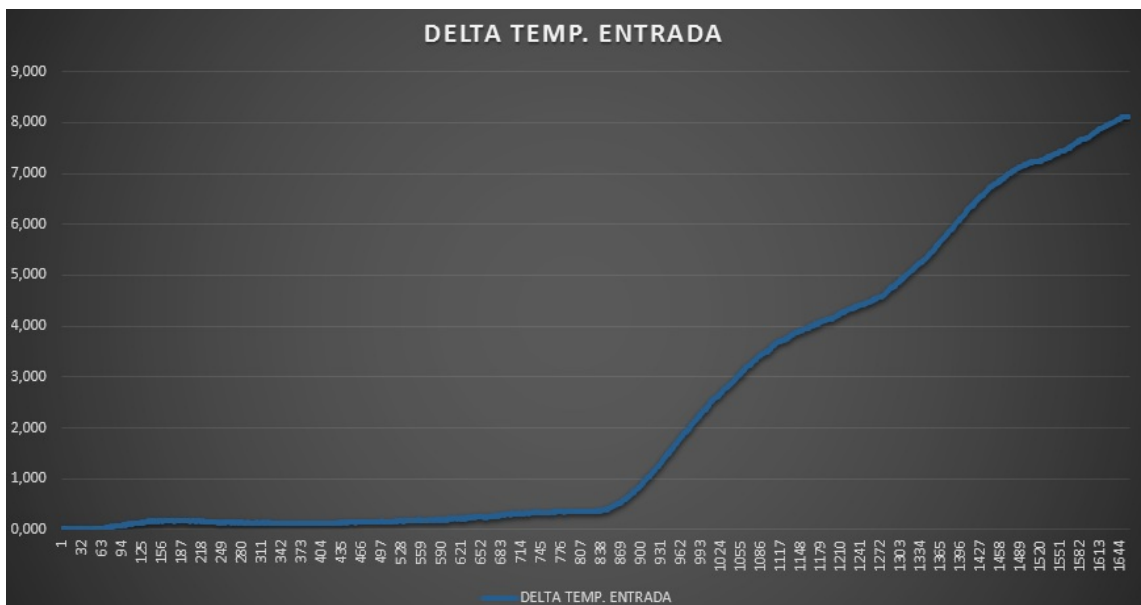


Figura B.21.: Delta temperatura entrada.

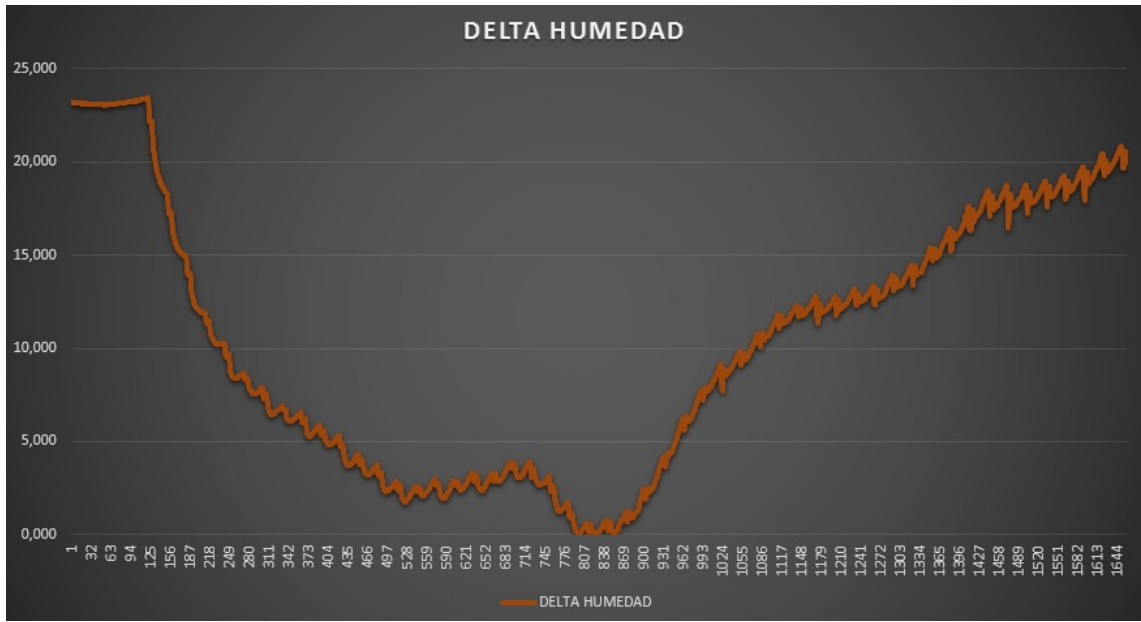


Figura B.22.: Delta humedad.

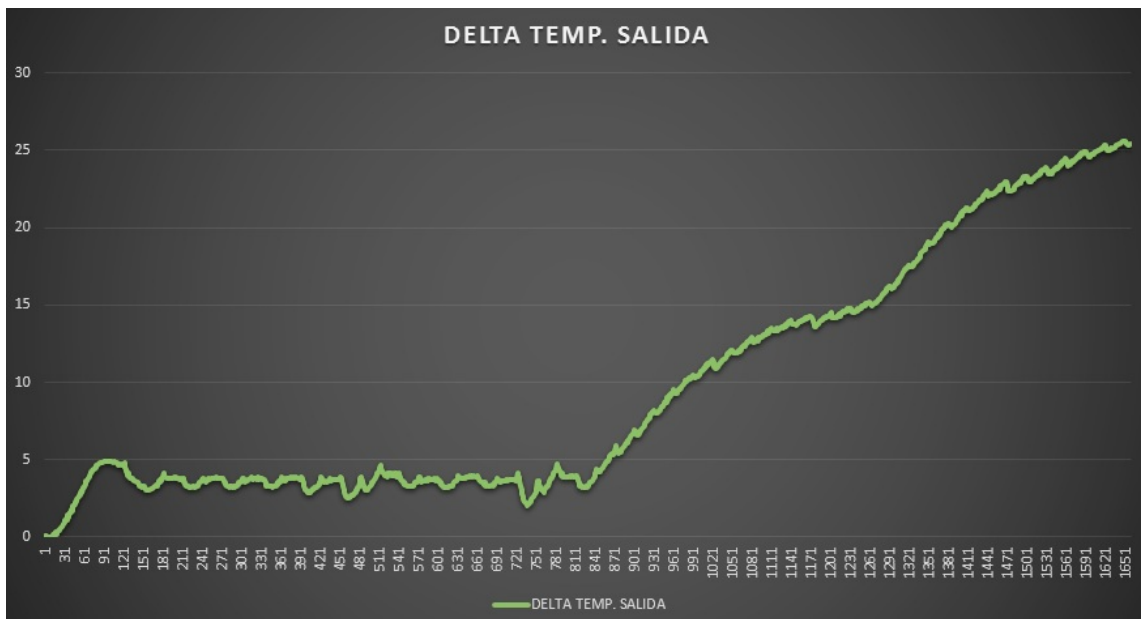


Figura B.23.: Delta temperatura salida.

B.1.12. Valores relativos temperatura y humedad séptima prueba.

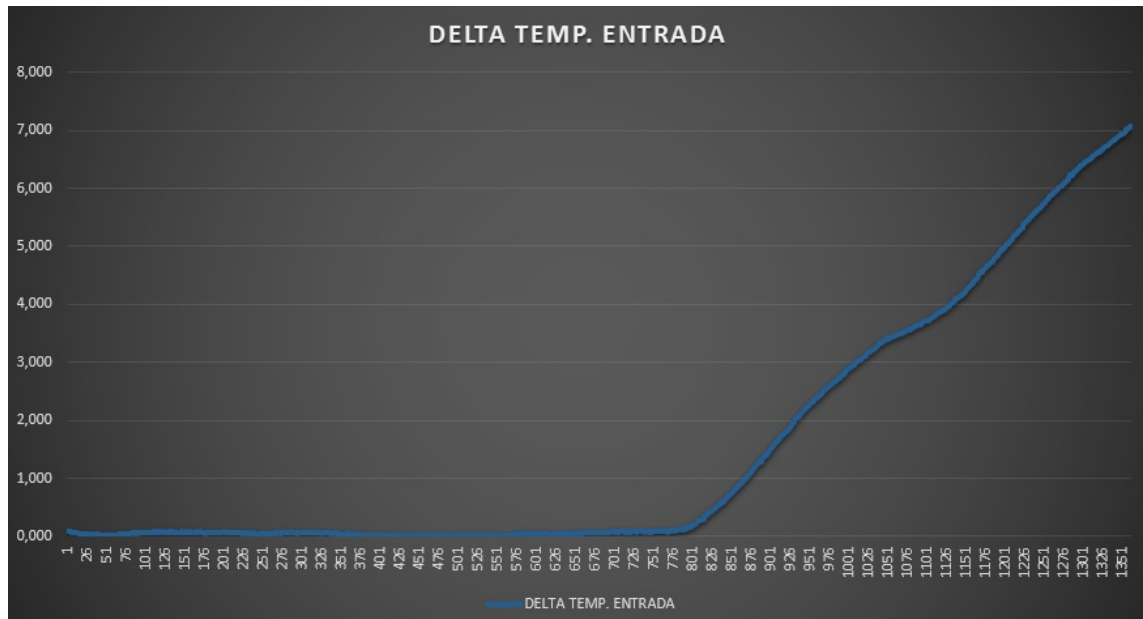


Figura B.24.: Delta temperatura entrada.

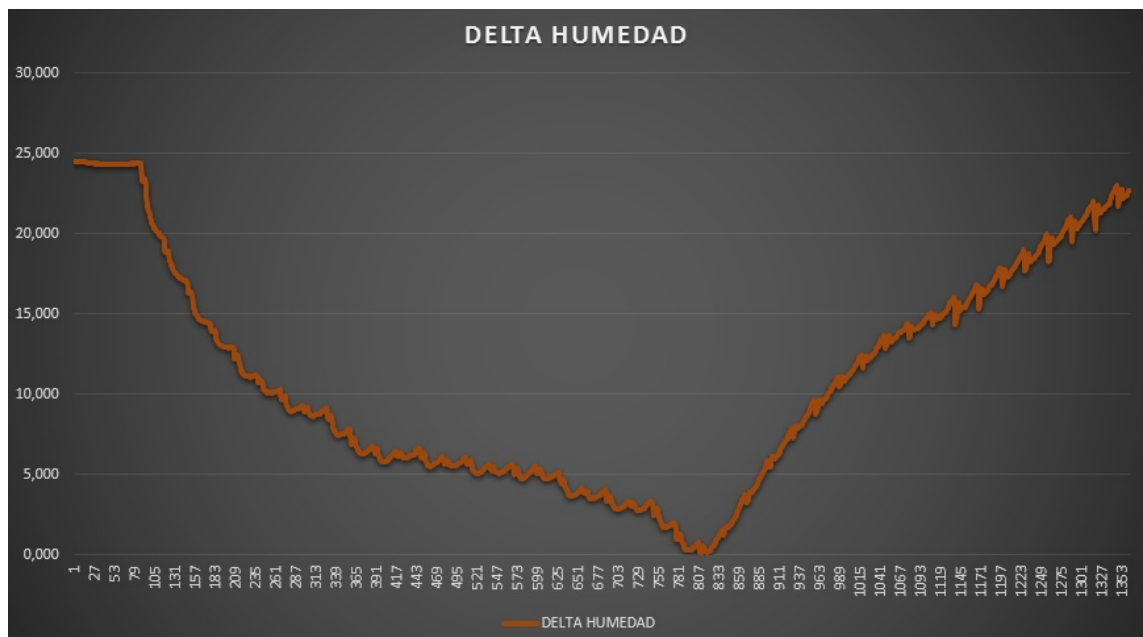


Figura B.25.: Delta humedad.

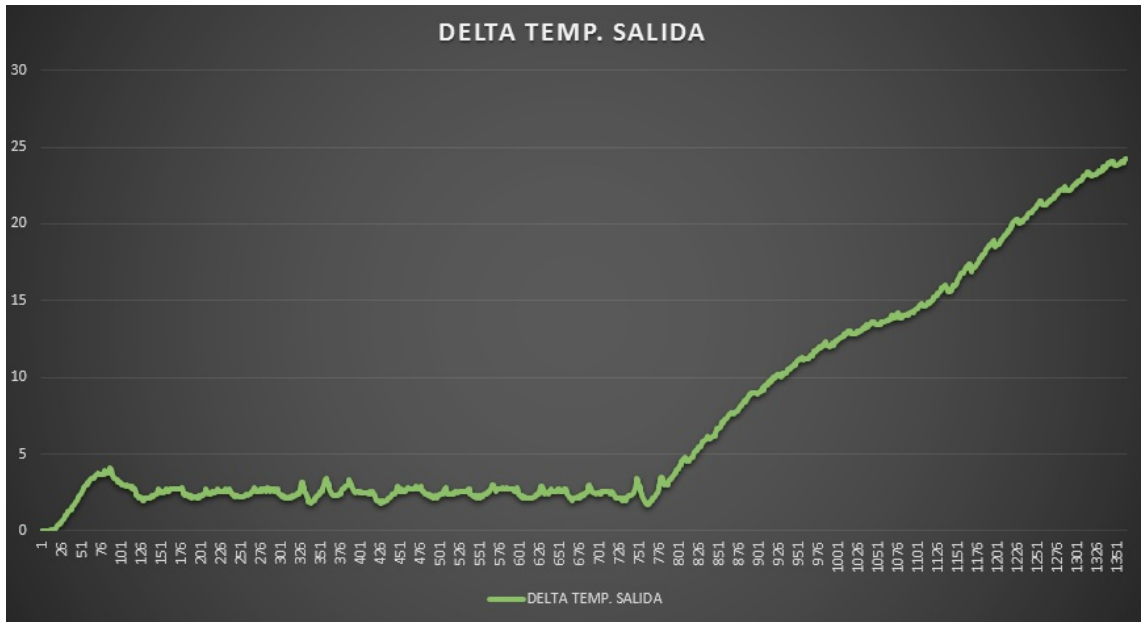


Figura B.26.: Delta temperatura salida.

B.1.13. Valores relativos temperatura y humedad octava prueba.

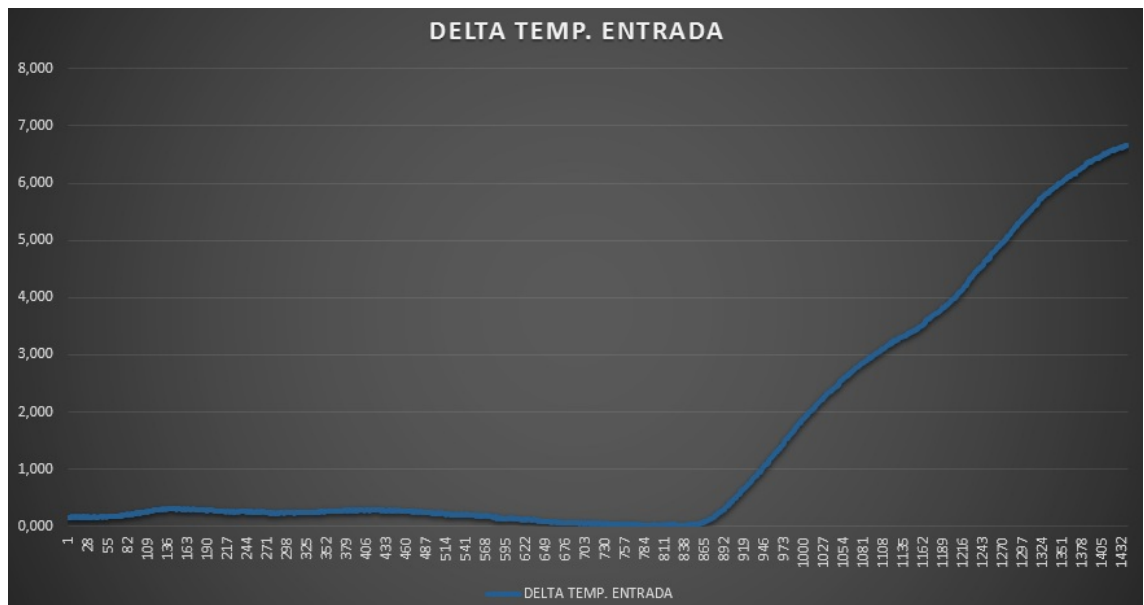


Figura B.27.: Delta temperatura entrada.

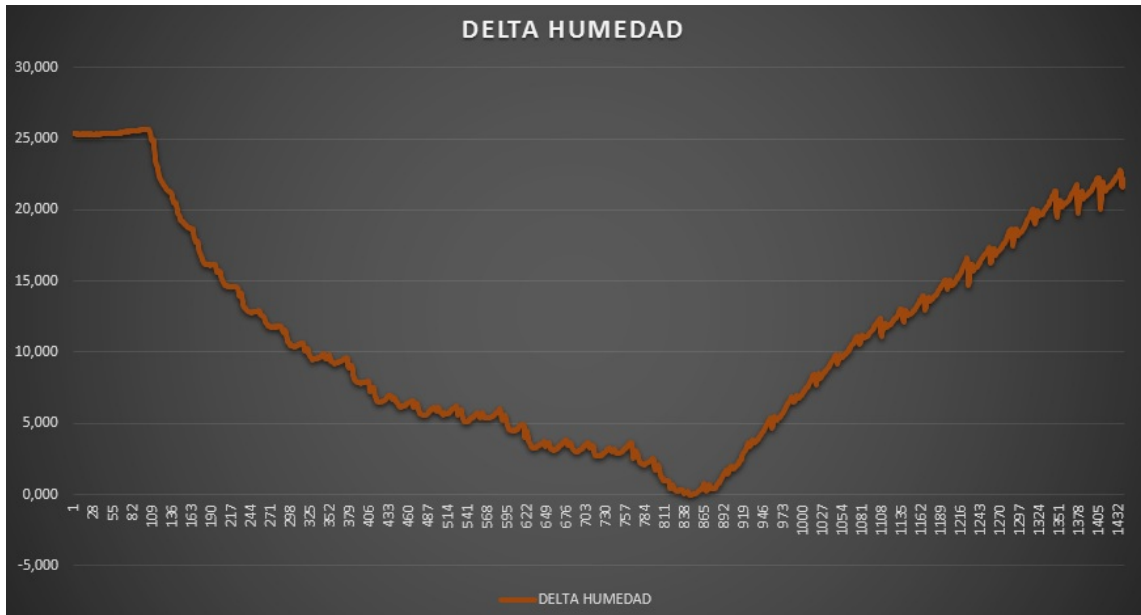


Figura B.28.: Delta humedad.

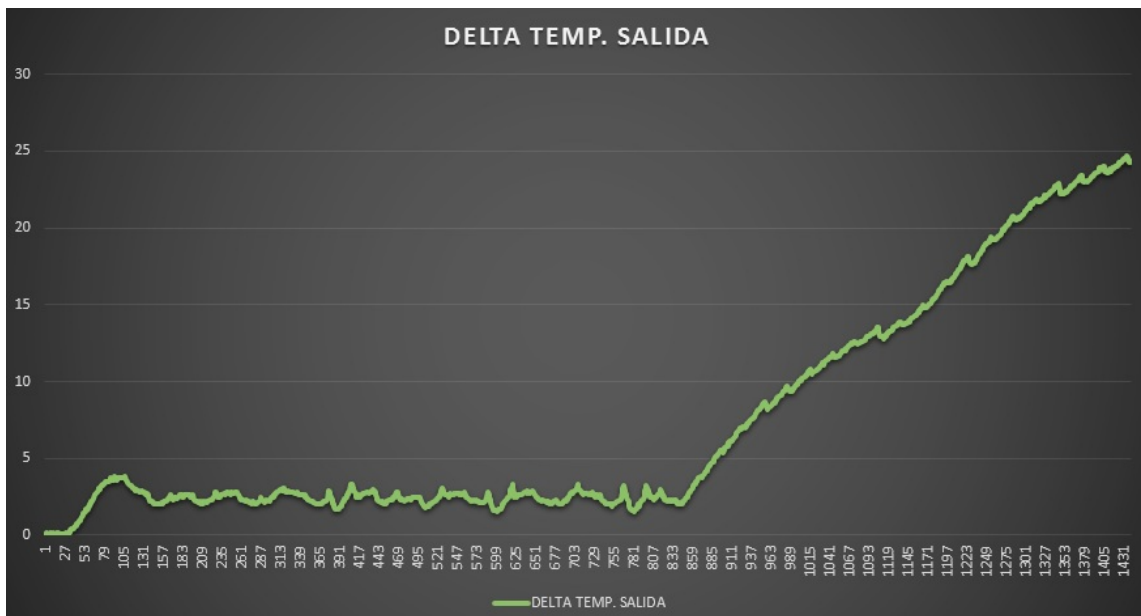


Figura B.29.: Delta temperatura salida.