

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA
ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA



Sistema de regulación automática de variables ambientales con dispositivos de
medición inalámbricos, para galpones avícolas

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

Aníbal Ruiz Barquero

Cartago, Diciembre de 2008

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA
ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA
PROYECTO DE GRADUACIÓN
TRIBUNAL EVALUADOR

Proyecto de Graduación defendido ante el presente Tribunal Evaluador como requisito para optar por el título de Ingeniero en Electrónica con el grado académico de Licenciatura, del Instituto Tecnológico de Costa Rica.

Miembros del Tribunal



Ing. Luis Paulino Méndez Badilla.

Profesor lector



Ing. Néstor Hernández Hostaller.

Profesor lector



Ing. Julio Stradi Granados.

Profesor asesor

Los miembros de este Tribunal dan fe de que el presente trabajo de graduación ha sido aprobado y cumple con las normas establecidas por la Escuela de Ingeniería Electrónica.

Cartago, Diciembre de 2008

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

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

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

Cartago, Diciembre del año 2008

Aníbal Ruiz Barquero

Céd.: 3 0373 0225

Resumen

En el proceso de crianza y engorde de aves, como el pollo, el confort ambiental del ave es la parte más importante del proceso. Los parámetros ambientales de temperatura y humedad relativa deben mantenerse dentro de determinados rangos de acuerdo a la edad del animal.

El proceso se lleva a cabo dentro de estructuras parcial o completamente cerradas, llamadas galpones abiertos y galpones tipo Túnel respectivamente. Es dentro de estas estructuras, donde se deben manipular las variables ambientales.

Actualmente la empresa utiliza sistemas electrónicos de casas matrices principalmente estadounidenses, como Chore-Tronics y Hired-Hand, las cuales manipulan el encendido/apagado de varios actuadores para mantener dentro de un rango establecido a las variables ambientales. Estos sistemas poseen características que no son indispensables en el proceso, por lo que su costo es elevado para algunos productores.

En este proyecto se diseñó un sistema de regulación de variables ambientales que realiza solo las funciones indispensables en el proceso y que ofrece una opción más económica de producción. El sistema posee unidades independientes de medición que trabajan con comunicación inalámbrica y permite extraer sus historiales de datos en memorias de almacenamiento masivo vía puerto USB.

De forma exitosa se obtuvieron los resultados esperados. Se logró una reducción superior a los \$1500 respecto a los sistemas comerciales disponibles en el mercado. Mediante la realización de pruebas de campo, se comprobó que el sistema posee un enlace de comunicación de hasta 270 metros.

Palabras clave: galpones, variables ambientales, temperatura, humedad relativa, comunicación inalámbrica, puerto USB, pruebas de campo.

Abstract

In the process of breeding birds such as chicken, the environmental comfort of the bird is the most important part of the process. Environmental variables of temperature and relative humidity should be kept within certain ranges depending on the age of the animal.

The whole process of rearing takes place within closed or partially closed structures called “galpones”, barns open and barns in the form of tunnel respectively. It is there within these structures where the environment variables should be regulated.

Nowadays the company uses electronic systems mainly from American companies such as Chore-Tronics and Hired-Hand, which handle the on/off of several devices to keep the environmental variables within a specific range. These systems have features that could be dispensable in the process, making them more expensive for some producers.

A system that only makes the essential functions in the process, offering a lowest cost choice to produce, was designed in this project. The system has independent units of measurement that work with wireless communication and can extract data records in Flash memories by USB port.

The expected result was obtained of a successful way; through field tests was found that the system has a very good communication link and to same time has a proper handling of the actuators.

Keywords: barn, environmental variables, temperature, relative humidity, wireless communication, USB port, field tests.

*A mis padres,
Por su ayuda y apoyo, durante toda mi carrera*

Agradecimientos

Agradecimiento a mi familia por la ayuda brindada durante todo mi proceso educativo.

Agradecimiento al ingeniero asesor de la empresa, Mauricio Granados por su apoyo y ayuda brindada durante la elaboración del proyecto.

Agradecimiento a los ingenieros, Julio Stradi, Luis Paulino Méndez y Néstor Hernández, por sus consejos y aportes en la elaboración de mi proyecto y en mi proceso educativo.

Agradecimiento a mis compañeros Edgar Sandí y Melvin Solano por todos sus aportes al proyecto en laboratorio de Estructura de Microprocesadores.

Agradecimiento especial al personal de Producción Pecuaria de Corporación PIPASA, por su acogimiento y respaldo brindados durante mi proyecto.

ÍNDICE GENERAL

CAPÍTULO 1	INTRODUCCIÓN	16
1.1	Importancia de la solución	16
1.2	Planteamiento de la solución	18
CAPÍTULO 2	META Y OBJETIVOS	21
2.1	Meta	21
2.2	Objetivo general	22
2.3	Objetivos específicos	23
2.3.1	Objetivos de hardware	23
2.3.1	Objetivos de software	24
2.3.2	Objetivo de aplicación	25
CAPÍTULO 3	MARCO TEÓRICO	26
3.1	Descripción del proceso a mejorar	26
3.2	Antecedentes Bibliográficos	29
3.2.1	Utilización de nebulizadores [15]	29
3.2.2	Ventilación [15]	30
3.2.3	Ambiente regulado [15]	31
3.3	Descripción de los principios físicos y/o electrónicos relacionados con la solución del problema	33
3.3.1	Conceptos y principios de redes inalámbricas	33
3.3.1.1	Frecuencia de operación	34
3.3.1.2	Tipos de Modulación	34
3.3.1.3	Topología de red	36

3.3.1.4	Direccionamiento	37
3.3.2	Propagación de las ondas electromagnéticas	37
3.3.2.1	Modelo de tierra plana	38
3.3.2.2	Pérdidas de enlace en el espacio libre.....	40
3.3.3	Principio de medición de temperatura	41
3.3.4	Principio de medición de humedad relativa	43
3.3.5	Parámetros ambientales teóricos para la crianza de aves	45
CAPÍTULO 4	PROCEDIMIENTO METODOLÓGICO.....	48
4.1	Reconocimiento y definición del problema.....	48
4.2	Obtención y análisis de información.....	48
4.3	Evaluación de las alternativas y síntesis de una solución.....	48
4.4	Implementación de la solución	49
CAPÍTULO 5	DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LA SOLUCIÓN.....	51
5.1	Análisis y selección final de la solución.....	51
5.2	Descripción del hardware.....	52
5.2.1	Circuito de acople entre señales digitales y relés de activación	53
5.2.1.1	Diseño de una fuente de poder con dos niveles de tensión y salida de corriente mayor a 1A	53
5.2.1.2	Diseño del circuito de acople entre las señales digitales y los relés de activación para los actuadores	54
5.2.2	Circuito de generación de señales de salida	55
5.2.3	Circuitos para la medición de variables ambientales	56
5.2.3.1	Unidad periférica de medición de temperatura (PT)	56
5.2.3.2	Unidad periférica de medición de temperatura y humedad relativa (PTH)	57

5.2.4	Unidad de administración y almacenamiento de datos para transferencias a dispositivos de almacenamiento masivo (DAM) vía puerto USB	58
5.2.5	Unidad central de procesamiento de datos (UCPD) e interfaz gráfica de usuario	60
5.2.6	Especificación de hardware del sistema completo	61
5.3	Descripción del software	62
5.3.1	Software para la unidad central de proceso de datos (UCPD)	62
5.3.1.1	Visualización de disponibilidad de sensores y valor de su última medición.....	63
5.3.1.2	Configuración del sistema.....	63
5.3.1.3	Software para el ingreso de la curva de referencia de temperatura y humedad relativa	65
5.3.1.4	Software para despliegue del historial de datos críticos de temperatura y humedad relativa	65
5.3.1.5	Software para el despliegue de causas de alarmas producidas	65
5.3.1.6	Programa para el despliegue de fecha y hora actuales	65
5.3.1.7	Software de captura, actualizaciones y toma de decisiones del sistema	66
5.3.2	Software para el módulo de generación de salidas	70
5.3.3	Software para el módulo de extracción de datos vía puerto USB.....	73
5.3.4	Software para la medición de variables ambientales y envío de datos en unidades periféricas PT y PTH.....	74
CAPÍTULO 6 ANÁLISIS DE RESULTADOS		76
6.1	Comprobación experimental del funcionamiento de los transceptores TRW-24G	76
6.2	Parámetros de configuración del TRW-24G con mejores resultados experimentales	77

6.3	Pruebas de establecimiento de enlace inalámbrico y comprobación de confiabilidad de los sensores implementados DS18S20 y STH71	78
6.4	Pruebas de campo del sistema completo en operación	78
6.5	Desglose de presupuesto y costo total	79
CAPÍTULO 7 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		80
7.1	Conclusiones.....	80
7.2	Recomendaciones	81
BIBLIOGRAFÍA		82
APÉNDICES		85
A1	Cálculos	85
	Cálculos de pérdidas en el espacio libre.....	85
	Cálculo para la fuente de alimentación de la unidad central de proceso	86
	Cálculo para la polarización de los transistores 2N3904.....	87
	Cálculo de la tasa de transferencia de la UCPD en protocolo serial a tres líneas .	87
A2	Glosario y abreviaturas	89
A3	Manual de usuario	90
A4	Información sobre la empresa.....	91
	A4.1 Descripción de la empresa	91
	A4.2 Descripción del departamento donde se trabajó.....	91
A5	Estándares desarrollados por la IEEE para comunicaciones inalámbricas	93
ANEXOS		94
	Anexo B1. Hoja de datos del microcontrolador PIC18F4550.	94
	Anexo B2. Hoja de datos del microcontrolador PIC16F876A.....	95
	Anexo B3. Hoja de datos del modulo transceptor TRW24G.	96
	Anexo B4. Hoja de datos del sensor de humedad STH71.	97

Anexo B5. Hoja de datos del sensor de temperatura DS18S20.....	98
Anexo B6. Hoja de datos del VDRIVE2 Vinculum VNC1L.	99

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1	Diagrama del modelo de funcionamiento (basado en arquitectura WAP)	19
Figura 1.2	Diagrama general del método de comunicación inalámbrica	20
Figura 3.1	Diagrama general del proceso industrial de producción de carne de pollo y sus derivados	26
Figura 3.2	Galpón abierto [1]	28
Figura 3.3	Boceto de un galpón Tipo Túnel [1]	28
Figura 3.4	Nebulizador o atomizador de Spraying Systems Co [2]	30
Figura 3.5	Flujo de aire en el galpón tipo túnel [1]	31
Figura 3.6	Calefactor AT 1.62 Gas Licuado de ALBIN TROTTER [3]	32
Figura 3.7	Sistema de enfriamiento por pared húmeda [1]	33
Figura 3.8	Modulación ASK [4]	34
Figura 3.9	Modulación FSK [5]	35
Figura 3.10	Modulación BPSK [5]	35
Figura 3.11	Filtro Gaussiano para datos [6]	36
Figura 3.12	Topología múltiples-pico – red, con TDM [8]	37
Figura 3.13	Modelo para tierra plana [11]	38
Figura 3.14	Principio de medición de temperatura por termopar [13]	42
Figura 3.15	Principio de medición de temperatura por Cintas metálicas [13]	42
Figura 3.16	Sensor capacitivo con un material higroscópico como dieléctrico [1]	45
Figura 5.1	Diagrama de bloques para la solución planteada	53
Figura 5.2	Circuito de la fuente de poder para la UCPD	54
Figura 5.3	Circuito de acople entre las señales digitales y los relés de activación	55
Figura 5.4	Diagrama de bloques del módulo de generación de señales de salida	56
Figura 5.5	Diagrama de bloques de un PT	56
Figura 5.6	Periférico de medición de temperatura (PT)	57
Figura 5.7	Diagrama de bloques del PTH	58
Figura 5.8	Periférico de medición de temperatura y humedad relativa	58
Figura 5.9	Diagrama de bloques del módulo de almacenamiento y administración de datos por puerto USB	59

Figura 5.10	Diagrama de especificación del módulo de almacenamiento y administración de datos por puerto USB.....	59
Figura 5.11	Diagrama de bloques de la unidad central de procesamiento de datos (UCPD).....	60
Figura 5.12	Diagrama de especificación de la unidad central de procesamiento de datos	61
Figura 5.13	Diagrama de especificación del sistema	62
Figura 5.14	Diagrama de flujo para la auto-escalabilidad del periodo de muestreo en función del número de ventiladores instalados	64
Figura 5.15	Diagrama de flujo de la captura de datos por parte de la UCPD.....	67
Figura 5.16	Diagrama de flujo de la rutina de actualización del sistema por periodo de muestreo	68
Figura 5.17	Diagrama de flujo para la rutina de toma de decisiones del sistema por periodo de muestreo	69
Figura 5.18	Diagrama de flujo del modulo de salida.....	72
Figura 5.19	Diagrama de flujo de la rutina de almacenamiento de datos en DAM...	73
Figura 5.20	Diagrama de flujo para la rutina de medición y envío de datos en periféricos.....	75

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 3.1	Comportamiento ideal de la temperatura (°C) y la humedad relativa en función de la edad del pollo [1].....	46
Tabla 3.2	Sensación térmica en función de la humedad relativa [17].....	46
Tabla 3.3	Disminución de la sensación térmica con la velocidad del viento [17]	47
Tabla 5.1	Asignación para el tiempo de muestreo en función del número de ventiladores.....	64
Tabla 5.2	Asignación para cada byte de los paquetes de información transmitidos ..	67
Tabla 6.1	Parámetros de configuración del TRW-24Ghz, con los que se obtuvieron mejores resultados	77
Tabla 6.2	Resultados obtenidos en pruebas de comparación de cada sensor con los del sistema comercial.....	78
Tabla 6.3	Resultados de pruebas del sistema completo en un galpón experimental	79
Tabla 6.4	Componentes electrónicos y eléctricos utilizados, su precio y presupuesto total	79
Tabla 9.1	Estándares de la IEEE para WLNA	93

CAPÍTULO 1 INTRODUCCIÓN

La producción de pollo en pie se da dentro de grandes estructuras con forma rectangular, que pueden ser parcialmente cerradas (galpón abierto) o cerradas totalmente (tipo Túnel). Ambas son utilizadas regularmente pero poseen diferencias de índole económica y de rendimiento de producción.

Una estructura cerrada requiere de la regulación automática de variables ambientales (temperatura y la humedad relativa). Sin embargo es preferible que esta regulación no incremente significativamente el costo de la producción y que genere mejores divisas con el tiempo.

La utilización de un sistema electrónico que trabaje con comunicación inalámbrica, la implementación de sensores de menor precio y un ajuste de las necesidades del proceso, sin afectar la confiabilidad, permite reducir el costo total de un sistema que regule las variables del ambiente.

1.1 Importancia de la solución

El confort ambiental de las aves, influye directamente en la conversión en kilogramos de alimento consumido por kilogramos de pollo en pie obtenido, lo cual determina la eficiencia de la producción avícola. Por lo que es de suma importancia evitar exposiciones del animal a estados inadecuados del ambiente por periodos prolongados de tiempo.

Una exposición mayor a tres minutos a una variable ambiental extrema no apta, en las primeras dos semanas de crianza en recintos cerrados, puede provocar la muerte de gran parte de la población, que en algunos casos ha alcanzado una tasa de mortalidad del cien por ciento. A este fenómeno se le conoce como muerte por estrés térmico.

La producción dentro de galpones tipo túnel es más económica que la producción dentro de galpones abiertos, ya que por ser estructuras completamente

cerradas tienen una menor influencia de las variables ambientales externas, lo que permite reducir costos en ventilación y calefacción, dándose un mejor aprovechamiento de comederos y bebederos internamente e implicando una disminución del consumo energético por ave producida y un aumento de la densidad poblacional por recinto.

A nivel interno, la empresa produce aproximadamente un 25% del pollo en pie por lo general en estructuras tipo Túnel y el resto es suplido por productores afiliados, que son personas que realizan la actividad de forma independiente y en su mayor parte en estructuras abiertas, debido a limitaciones económicas. Esto hace que el costo de producción por ave sea mayor y por ende menos eficiente respecto a la producción realizada directamente por la empresa.

El sistema electrónico más utilizado por la empresa para ambientes controlados, es el de casa matriz Chore-Tronics, que tiene un costo que ronda los \$2400 e incluye tres sensores de temperatura y uno de humedad relativa. Generalmente se requiere del uso de cuatro sensores de temperatura por galpón, con un costo aproximado de \$60 para un subtotal de \$2460, a lo que debe sumarse el costo de instalación del sistema.

La falta de registros de variables ambientales de la producción integrada genera un descontrol estadístico, por lo que se carece de curvas de comportamiento de las variables ambientales cuando se dan tasas de mortalidad altas, haciendo muy difícil la aplicación de medidas correctivas por parte de la empresa.

Con el diseño e implementación de un sistema de regulación automática con comunicación inalámbrica para realizar las mediciones de variables ambientales, se obtendrán las siguientes ventajas.

- Un sistema de aplicación específica para crianza en recintos cerrados.
- Un sistema de regulación automática de bajo costo.
- Adaptación a lenguaje regional.
- Reducción de costos de instalación.
- Registros digitales de datos.
- Facilidad de instalación.
- Versatilidad del sistema.
- Capacidad de manipulación de parámetros de encendido.

1.2 Planteamiento de la solución

Para el desarrollo de la solución, la empresa estableció los siguientes requerimientos con los que debe cumplir el sistema.

- Un sistema con facilidad de instalación.
- Proceso de medición estable y confiable.
- Señales eléctricas para activación de relés a 24V y 50mA.
- Pared húmeda temporizada.
- Capacidad de ventilación mínima temporizada.
- Historiales de al menos 30 días.
- Curva de referencia para 30 días.
- Ciclos de histéresis de 2°C en ventilación.
- Humedad relativa mayor al 50%.
- Tolerancia de temperatura de +-2°C con calefactores.
- Desgaste uniforme de los motores de los ventiladores.
- Generación de alarma por mal funcionamiento de los sensores.
- Generación de alarma por diferencias de 4°C sensor-promedio

Para facilitar el proceso de instalación del sistema se escogió una solución basada en la implementación de un método de comunicación eléctrica inalámbrica, con el fin de establecer una red de sensores con varias unidades periféricas de medición y una unidad central de proceso. De forma tal, que el periférico de medición puede ser ubicado a conveniencia sin trazar cableados a través de la estructura.

Debido a que las distancias son relativamente cortas (curvatura de la tierra aproximadamente cero) y que se da en un ambiente donde la comunicación permite ser establecida a línea vista sin obstáculos, no es importante analizar la primera zona de Fresnel.

Un dispositivo de alcance moderado (menor a 300m) y un protocolo de comunicación discriminante de otras señales, garantizan la estabilidad de la comunicación administrador/periférico dentro de la estructura.

Mediante un protocolo de comunicación con codificación de información (ver figura 1.1) es posible diferenciar entre la información solicitada y algún posible error causado por señales con características electromagnéticas que puedan interferir al sistema.

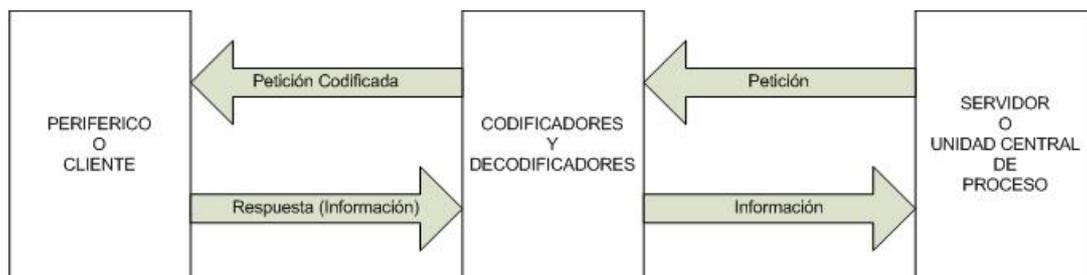


Figura 1.1 Diagrama del modelo de funcionamiento (basado en arquitectura WAP)

Por medio de un ciclo de espera de respuesta y repeticiones de solicitud de información al los periféricos, se contempla el efecto de los materiales con los que se construye la estructura física y de algunas otras señales electromagnéticas que puedan impedir o retrasar la comunicación.

La implementación de una comunicación por encuesta, permite a la unidad central solicitar, identificar y registrar la información de cada unidad periférica, así como identificar la ausencia o mal funcionamiento de alguna de éstas. El método de comunicación por encuesta es mostrado en la figura 1.2.

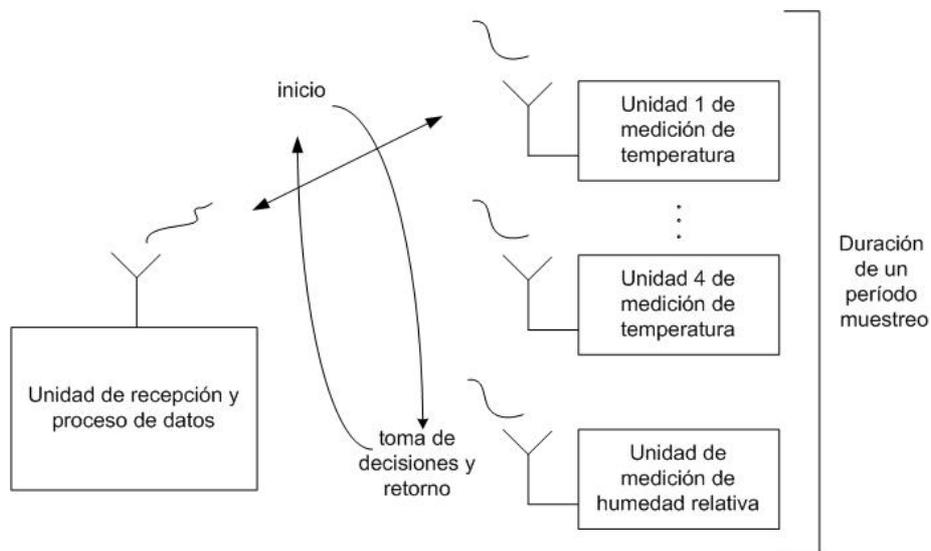


Figura 1.2 Diagrama general del método de comunicación inalámbrica

Un análisis de bandas de frecuencia para comunicación y sus canales, permitió identificar una banda adecuada de operación para el sistema y la identificación de los canales con menor probabilidad de entrelazado. Con la determinación de factores como protocolo a seguir y banda de frecuencia y canales adecuados, se procedió a realizar la elección de los dispositivos de comunicación.

Un algoritmo inteligente de uso de memoria no volátil, permite hacer un desplazamiento en la secuencia de encendido de ventilación, con el fin de llevar a cabo un desgaste uniforme de los motores de los ventiladores.

Mediante el desarrollo de un algoritmo de recepción y almacenamiento de datos, se dota al sistema con la capacidad de mantener historiales no volátiles, con valores críticos (máximos y mínimos) de temperatura y humedad relativa diarios, con la posibilidad de ser extraídos del sistema a través de dispositivos de almacenamiento masivo.

CAPÍTULO 2 META Y OBJETIVOS

2.1 Meta

Lograr una reducción significativa de los costos de producción relacionados con la crianza de aves mediante ambientes regulados automáticamente.

2.2 Objetivo general

Crear un dispositivo prototipo con conectividad inalámbrica capaz de supervisar, medir, regular y asegurar las variables ambientales de temperatura y humedad relativa dentro de un galpón.

2.3 Objetivos específicos

2.3.1 Objetivos de hardware

- A. Definir todos los componentes electrónicos y eléctricos necesarios en la implementación del proyecto, así como sus características.
- B. Diseñar y construir una interfaz inalámbrica que permita el tránsito de información entre una unidad central de proceso de datos y sus dispositivos periféricos.
- C. Diseñar y construir un circuito de alta confiabilidad que funcione como unidad central de proceso con su respectiva interfaz gráfica de usuario.
- D. Implementar un circuito de acople entre las señales de encendido/apagado de la unidad central de proceso y los relés de activación de los actuadores.

2.3.2 Objetivos de software

- A. Elaborar un algoritmo de adquisición y despliegue de datos que permita al usuario configurar y utilizar el sistema de acuerdo a las necesidades del proceso.
- B. Programar la rutina de adquisición y despliegue de datos para la interfaz gráfica con el usuario.
- C. Desarrollar un algoritmo para adquirir datos, procesar datos y tomar decisiones de forma automática, en función de la configuración del sistema y los datos muestreados de manera instantánea.
- D. Programar la rutina de adquisición, proceso y toma de decisiones.

2.3.3 Objetivo de aplicación

- A. Implementar un prototipo de sistema electrónico para ambiente regulado con comunicación inalámbrica y comprobar su funcionamiento de acuerdo a los requerimientos planteados por la empresa.

CAPÍTULO 3 MARCO TEÓRICO

3.1 Descripción del proceso a mejorar

El proceso industrial de producción de carne de pollo está basado en ocho etapas, las cuales son ilustradas en la figura 3.1. Este proyecto se orienta en el desarrollo de un sistema que se implementará en la etapa 6 de engorde.

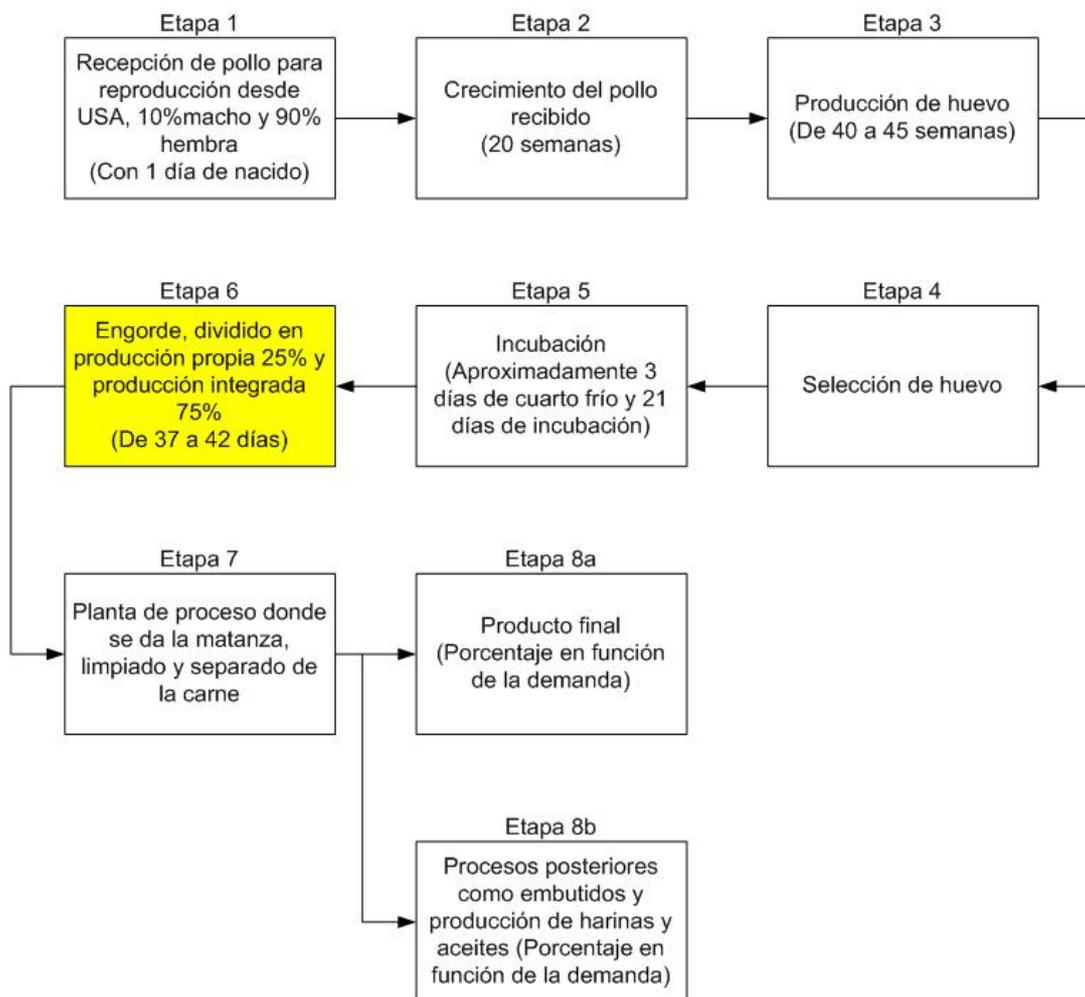


Figura 3.1 Diagrama general del proceso industrial de producción de carne de pollo y sus derivados

La etapa número uno del proceso consiste en la recepción de pollo con un día de nacido y que a la postre será el pollo madre, este tipo de pichón es debidamente seleccionado por sus distribuidores y es importado desde los Estados Unidos de Norteamérica por Corporación PIPASA.

Posteriormente es debidamente alimentado y cuidado en granjas durante un periodo de 20 semanas para que pase a la etapa tres de reproducción, una proporción del 10% de machos y un 90% de hembras asegura que la mayor parte de la población esté produciendo huevo.

Luego de la escogencia del huevo producido, éste pasa a cuarto frío un máximo de 3 días donde es separado y preparado para la carga y traslado, que debe dar a basto con la demanda de todas las unidades de incubación. La etapa de incubación dura 21 días.

Después del nacimiento se realiza la distribución de las aves entre las granjas propias y las granjas integradas para la etapa de engorde. La producción propia es la que consiste en completar el proceso de alimentación, medicación y supervisión veterinaria dentro las granjas de la empresa hasta cumplir con el peso y edad adecuados para la etapa posterior.

La producción integrada es realizada por personas ajenas a la empresa, que reciben el pollo nacido en sus granjas. Con la característica de que el proceso de alimentación, medicación y supervisión veterinaria, puede ser financiado por la empresa o cubierto por el dueño de la granja, para que al finalizar la crianza y engorde, el pollo con el peso y edad adecuada pase a la siguiente etapa.

La etapa número siete se da en la planta de proceso, que se encarga de matar al pollo, limpiarlo y separar la carne, así como de seleccionar los restos que son utilizados en procesos posteriores.

El proceso de crianza y engorde (donde se realizó el proyecto) se realiza dentro de estructuras llamadas galpones, existen dos tipos de galpones, los galpones abiertos y los galpones tipo Túnel, que son estructuras cerradas por cortinas plásticas a los lados o paredes de concreto en algunos países.

En la figura 3.2 se muestra una fotografía de un galpón abierto, este tipo de estructura permite ser utilizada sin dispositivos automáticos de regulación de variables

ambientales, ya que tienen buena ventilación y no hay riesgo de excesiva concentración de amoníaco.



Figura 3.2 Galpón abierto [1]

En la figura 3.3 se muestra un boceto de un galpón tipo túnel, que requiere de un sistema de ventilación y salidas de aire para evitar altas concentraciones de amoníaco, se caracteriza por requerir de una menor cantidad de ventiladores para bajar la sensación térmica en su interior.

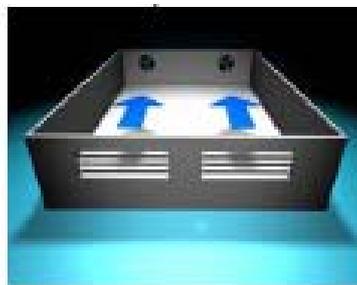


Figura 3.3 Boceto de un galpón Tipo Túnel [1]

Los galpones tienen como mínimo dimensiones de 160m de largo por 7.5m de ancho, son construidas generalmente de madera, sin paredes y cubiertas lateralmente con una malla 1/2" para evitar el ingreso de aves silvestres. En su interior se encuentran todos los dispositivos necesarios para la alimentación e hidratación de las aves durante todo su proceso de crianza.

Dentro de estas estructuras la temperatura y la humedad relativa del ambiente debe mantenerse dentro de rangos predeterminados que van de acuerdo a la edad del

animal. La temperatura dentro del galpón debe corresponder a la zona de termoneutralidad o confort que es la que se considera optima para que el ave se comporte de forma satisfactoria, produciendo la menor cantidad de calor posible y sin ocasionarle jadeos al ave.

El nivel de mortalidad de las aves depende en gran medida de los efectos de la temperatura y la humedad relativa, especialmente en etapas finales del proceso de crianza, ya que valores altos de estas variables climáticas pueden generar fallas cardiacas y disturbios nerviosos y respiratorios en el animal.

El objetivo primordial del proyecto está enfocado en dar condiciones de confort ambiental al pollo en la etapa de crianza y engorde (Etapa 6), para así mantener una uniformidad de consumo alimenticio y obtener al mayor aprovechamiento energético de ese alimento consumido, para obtener pollo en pie dentro de los limites de peso y conversión energética dados por la compañía.

3.2 Antecedentes Bibliográficos

Para llevar a cabo el manejo del clima en galpones existen varios métodos que pueden ser empleados. Sin embargo son tres las tecnologías modernas más empleadas para este fin como lo son el uso de nebulizadores, la ventilación y los ambientes controlados.

3.2.1 Utilización de nebulizadores [15]

La nebulización es conocida como micro-aspersión aérea de gota fina. Un nebulizador es en síntesis un dispositivo utilizado para pulverizar un líquido [16] y es conocido también como un atomizador (ver figura). Son sistemas efectivos para la disminución del índice de tensión térmica dentro de los galpones, utilizando la mayor área posible de contacto por volumen determinado de agua para absorber calor.



Figura 3.4 Nebulizador o atomizador de Spraying Systems Co [2]

La aplicación de un sistema de nebulización dentro de galpones depende directamente del nivel de humedad relativa, ya que si el porcentaje es mayor al 80% aplicar nebulización implicaría aumentar demasiado el nivel humedad relativa interna, por lo que debe deshabilitarse a partir de ese porcentaje.

Este tipo de refrescamiento debe aplicarse en periodos de 5 a 10 minutos cuando la temperatura exceda los 28°C y debe deshabilitarse desde las 22:00 hasta las 9:00 horas, ya que usualmente en estas horas el nivel de humedad relativa es alto y las temperaturas del aire ingresado son bajas respecto a las necesidades del ave.

3.2.2 Ventilación [15]

El método de ventilación es aplicado de forma obligatoria en el proceso de crianza y engorde, ya que una gran concentración de aves en un cubículo cerrado generan gran cantidad de calor, un alto consumo de oxígeno y un viciado del aire con gases y polvo, lo cual obliga a la inyección constante de aire limpio o extracción del aire viciado.

Existe una técnica que ubicar los galpones de forma tal que sean aprovechados los vientos predominantes en el ambiente, esto permite que tanto galpones abiertos como tipo túnel puedan prescindir temporalmente de la ventilación por medio de abanicos industriales, que generan un aumento en el costo de la producción

Es necesario que las estructuras cerradas posean entradas y salidas de aire las cuales deben ser previstas en su construcción, por lo general las entradas de aire se ubican en un extremo de la estructura y las salidas de aire en el extremo opuesto de la misma, en la figura 3.5 se muestra una ilustración de cómo debe fluir el aire de

renovación en recintos cerrados, que es forzado por los ventiladores a pasar por todo el galpón.

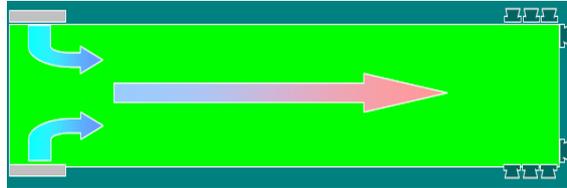


Figura 3.5 Flujo de aire en el galpón tipo túnel [1]

Realizar una verificación del estado de los motores de ventiladores es imprescindible, ya que se pierde eficiencia cuando las correas se encuentran flojas o las aspas están sucias.

Se debe poseer un programa de mantenimiento constante de los motores, con revisiones periódicas de la velocidad del viento con un anemómetro y un manómetro diferencial ya que cuando la presión del aire es muy alta la eficiencia de los ventiladores baja considerablemente.

Una tasa de al menos 30 centímetros cúbicos por minuto supe las necesidades de la primera semana de vida del ave, sin embargo debe ir en aumento de acuerdo al crecimiento del animal, lo que implica que a mayor edad del ave menor sensación térmica se requiere en su periodo de vida.

En galpones abiertos siempre que el viento externo sea ideal la temperatura del galpón es óptima, sin embargo conforme aumenta la temperatura externa es mayor la cantidad de ventiladores necesarios para disminuir la sensación térmica del animal, siendo esta la gran diferencia que se tiene con los galpones tipo túnel.

3.2.3 Ambiente regulado [15]

Un ambiente regulado posee como principal característica un sistema de regulación automática de variables ambientales. Se da en instalaciones techadas y revestidos de material aislante térmico, posee sistema de cortinas y generalmente se

combinan con sistemas nebulizadores o sistemas de pared húmeda, así como calefactores de gas.



Figura 3.6 Calefactor AT 1.62 Gas Licuado de ALBIN TROTTER [3]

El ave criada en estos ambientes llega a dar rendimientos óptimos en cuanto a peso y alimento consumido por lo general con conversiones ideales, por lo que es la forma que mejores ingresos genera. El factor a considerar es la inversión inicial que usualmente es muy elevada, pero a la postre autofinanciada.

El sistema de cortinas hace cambiar el concepto de producción a un galpón tipo túnel, que implica un mejor rendimiento de la ventilación artificial donde usualmente no se requiere de más de 8 ventiladores, para alcanzar velocidades de intercambio de aire apropiadas para el confort ambiental.

Los techados revestidos con aislante térmico en combinación con calefactores de gas que suelen ser muy eficientes, son ideales para las primeras dos semanas de crianza, ya que la temperatura ideal es de 32 a 33°C y la temperatura ambiente es usualmente más baja.

La pared húmeda es un sistema utilizado en ambientes regulados que ofrece otra opción para disminuir la sensación térmica por pulverización de agua, mediante dos conductos con salida al mismo punto, uno a 45° de inclinación, que transporta agua y otro a 30° de inclinación que transporta aire, tienen una colisión que produce el efecto de micro-aspersión.



Figura 3.7 Sistema de enfriamiento por pared húmeda [1]

3.3 Descripción de los principios físicos y/o electrónicos relacionados con la solución del problema

Para el desarrollo de un diseño acorde a la solución planteada, se debe de establecer una serie de conceptos tanto del proceso de producción, como electromagnéticos, eléctricos y electrónicos.

Para este proyecto se establecen varias secciones citadas a continuación:

- Conceptos y principios de redes inalámbricas.
- Propagación de las electromagnéticas.
- Principio utilizado de medición de temperatura.
- Principio utilizado de medición de humedad relativa.
- Parámetros ambientales teóricos para la crianza de aves.

3.3.1 Conceptos y principios de redes inalámbricas

Una red inalámbrica es la que utiliza ondas electromagnéticas como medio de propagación para las señales que transportan la información. Mediante un proceso de modulación se altera la señal portadora con el fin de codificar la información a transportar.

Cada red debe distinguirse por medio de características únicas como frecuencia de operación, tipo de modulación, topología, direccionamiento, nodos, entre otras

características; que hacen posible el funcionamiento de múltiples redes en el mismo lugar.

3.3.1.1 Frecuencia de operación

La frecuencia de operación es definida como un segmento del espectro que está dividido en canales por lo general de un mismo ancho. El ancho de banda es el rango de frecuencias en el que se concentra la mayor parte de la señal igual o inferior a 3dB respecto a la frecuencia central de pico.

3.3.1.2 Tipos de Modulación

Los diferentes tipos de modulación tienen características que los hacen más o menos adecuados para diferentes aplicaciones. Existen tres principios básicos de modulación, en frecuencia, en fase y en amplitud, pero en la actualidad las combinaciones han generado excelentes resultados en lo que a tasas de transferencia se refiere.

Entre los tipos de modulación más utilizados está el ASK, que mediante una modificación de la amplitud de la portadora distingue entre los valores lógicos, un 1 lógico tiene mayor amplitud de señal que un 0 lógico.

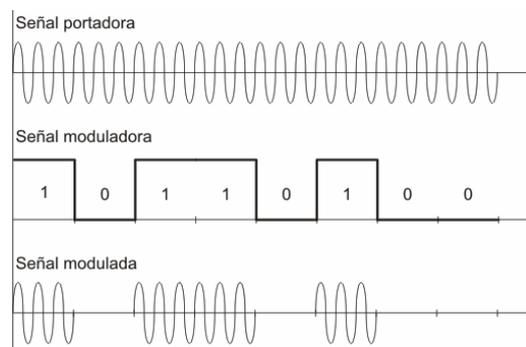


Figura 3.8 Modulación ASK [4]

Otro tipo de modulación importante es el que se realiza por medio de variaciones de frecuencia de la portadora (FSK), donde cada uno de los valores lógicos viaja a diferente frecuencia.

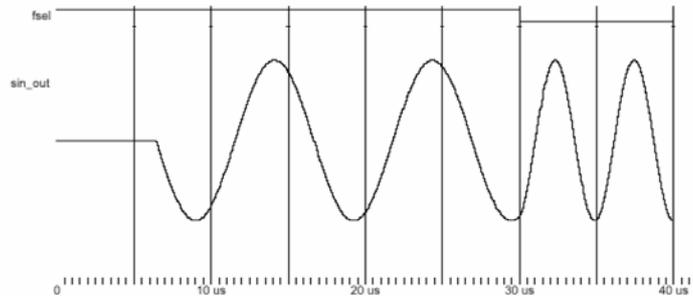


Figura 3.9 Modulación FSK [5]

Con desplazamientos de fase mediante una señal de doble banda lateral con portadora suprimida, se obtiene la modulación BPSK. Las bandas están separadas de la portadora por un valor igual a la mitad de la razón de bit.

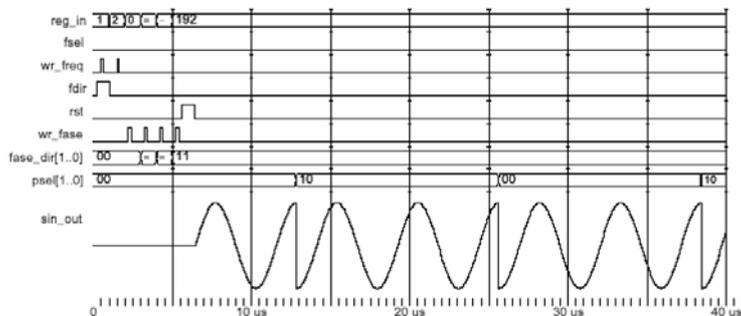


Figura 3.10 Modulación BPSK [5]

Entre las modificaciones de algunos tipos de modulación se encuentra la GFSK que es el mismo tipo de FSK con un filtro Gaussiano en su salida.

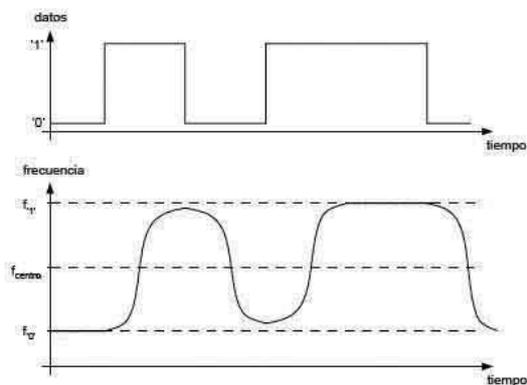


Figura 3.11 Filtro Gaussiano para datos [6]

La modulación GFSK tiene varias aplicaciones entre las cuales están las telecomunicaciones inalámbricas mejoradas digitalmente (DECT), el Bluetooth que es un protocolo de comunicación para redes inalámbricas de área personal en espacios reducidos, los dispositivos Texas Instruments LPRF y ZWave que es un estándar de comunicación inalámbrica diseñado para aplicaciones de control remoto y dispositivos electrónicos de uso doméstico.

El tipo de modulación determina el aprovechamiento del canal en el que se transmite y posibilita transportar mayor cantidad de información de forma simultánea en una misma frecuencia, protegiéndola de interferencias y ruidos que puedan alterar la información que se desea transmitir.

3.3.1.3 Topología de red

Es la arquitectura o disposición física en que se conectan los periféricos y el servidor de una red, toma en cuenta el o los protocolos utilizados en la conexión.

Una red puede ser centralizada o no centralizada [9]. Una red centralizada se caracteriza por que el flujo de datos es controlado por un servidor, mientras que en una red descentralizada los datos pueden fluir sin que un servidor deba decidir si se realiza una transferencia o no.

Existen diversas topologías que se clasifican por sus conexiones físicas y lógicas [9], un ejemplo de topología múltiples pico – red, con conexión punto multipunto con TDM [10], donde el ancho de banda es asignado a cada canal durante una fracción del tiempo total.

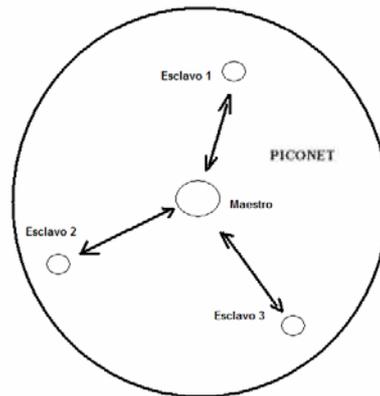


Figura 3.12 Topología múltiples-pico – red, con TDM [8]

3.3.1.4 Direccionamiento

Es una serie de números, letras, símbolos o la combinación de ellos que permite identificar a un nodo en una red, generalmente con el objetivo de saber la procedencia de los datos [7].

3.3.2 Propagación de las ondas electromagnéticas

Para enlaces inalámbricos en espacios reducidos donde la curvatura de la tierra es prácticamente igual a cero, no es necesario realizar análisis para las zonas de Fresnel, ni de visibilidad radioeléctrica y por ende no se requiere de un despeje de “Clearance” (libertad de paso de la señal).

Se debe tomar en cuenta un modelo de propagación de ondas electromagnéticas, para lo que existen dos modelos de acuerdo a la curvatura terrestre

en la que se desee implementar un enlace inalámbrico, el modelo de propagación sobre tierra curva y el modelo de tierra plana.

3.3.2.1 Modelo de tierra plana

El modelo de tierra plana es mostrado en la figura 3.13 y es considerado cuando la distancia entre antena transmisora y receptora es menor o igual al 10% del horizonte radioeléctrico [11].

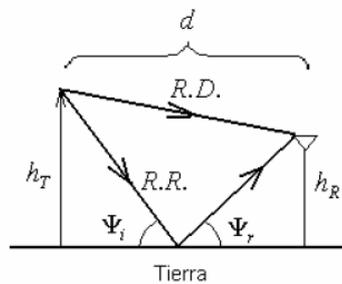


Figura 3.13 Modelo para tierra plana [11]

Para este modelo el campo eléctrico en recepción es calculado como la suma de un rayo ficticio R.D. y la parte de la reflexión de la energía radiada hacia la tierra R.R., lo que conduce a la expresión dada a continuación.

$$E_{RX} = E_{R.D.} + E_{R.R.} \quad (3.1)$$

La contribución de campo eléctrico del rayo directo asume condiciones de espacio libre [11] y se calcula mediante la ecuación 3.2.

$$E_{R.D.} = E_0 \left(\frac{mV}{m} \right) = \frac{173 \sqrt{P_{rad}(kW)}}{d_1(km)} * e^{-j\theta_1} \quad (3.2)$$

Donde:

d_1 : distancia que recorre el rayo directo

\varnothing_1 : desfase en función de la constante de propagación y de la distancia recorrida

El campo eléctrico del rayo reflejado que se suma al campo que llega a la antena de recepción, es únicamente una fracción de la energía radiada en dirección de la tierra y está dado por el coeficiente de reflexión (Γ)[11], siendo su desfase diferente al del rayo directo, se definen diferentes desfases.

$$E_{R.R.} = \frac{173 \cdot \sqrt{pire(kW)}}{d_2(km)} * \Gamma * e^{-j\varnothing_2} \quad (3.3)$$

Donde:

d_2 : distancia recorrida por el rayo reflejado

\varnothing_2 : retardo de propagación

Γ : coeficiente de reflexión

Sumando las expresiones 3.2 y 3.3, se obtiene la expresión:

$$E_{RX} = \frac{173 * \sqrt{pire(kW)}}{d_1(km)} * e^{-j\varnothing_1} + \frac{173 * \sqrt{pire(kW)}}{d_2(km)} * \Gamma * e^{-j\varnothing_2}$$

Asumiendo las ganancias de las antenas iguales y distancias prácticamente iguales:

$$d_1 = d_2$$

Se simplifica la expresión y se obtiene la ecuación 3.4.

$$E_{RX} = E_0(1 + \Gamma * e^{-j\varnothing}) \quad (3.4)$$

Donde:

E_0 : contribución del rayo directo, calculado en condiciones de espacio libre

\varnothing : diferencia de fase entre los rayos reflejado y directo

Γ : coeficiente de reflexión en el interfaz aire-tierra

Las pérdidas totales de enlace contemplan un término de atenuación en exceso sobre el espacio libre como se presenta en la ecuación 3.5.

$$A_E = -20 * \log |1 + \Gamma * e^{-j\theta}| \quad (3.5)$$

3.3.2.2 Pérdidas de enlace en el espacio libre

Las pérdidas de espacio libre son las pérdidas de propagación de una señal electromagnética en el aire, esta consideración y su cálculo toman la suposición de que no se presentan obstáculos en el camino de la señal.

Generalmente para enlaces en espacios reducidos y cerrados las pérdidas en el espacio libre son las que determinan el enlace, ya que se asume que no se presentan elementos naturales de interferencia en el camino de la señal.

Mediante la ecuación 3.6 se puede calcular la magnitud en decibeles de la atenuación de la potencia de la señal emitida, debida al espacio libre en frecuencias de operación en el orden de los Mega-hertzio y distancias en el orden de los kilómetros.

$$L_p(dB) = 32.46 + 20 * \log_{10}(f[\text{Mhz}]) + 20 * \log_{10}(d[\text{km}]) \quad (3.6)$$

La ecuación 3.7 es empleada cuando la frecuencia de operación está dada en el orden de los Giga-hertzio y la distancia en kilo-metros [12].

$$L_p(dB) = 32.46 + 20 * \log_{10}(x[\text{Ghz}] * 1000) + 20 * \log_{10}(d[\text{km}])$$

$$L_p(dB) = 32.46 + 20 * [\log_{10}(x[\text{Ghz}]) + \log_{10}(1000)] + 20 * \log_{10}(d[\text{km}])$$

$$L_p(dB) = 32.46 + 20 * \log_{10}(x[\text{Ghz}]) + 20 * \log_{10}(1000) + 20 * \log_{10}(d[\text{km}])$$

$$L_p(dB) = 92.46 + 20 * \log_{10}f(GHz) + 20 * \log_{10}d(km) \quad (3.7)$$

La ecuación 3.8 es empleada cuando la frecuencia de operación esta en el orden de los Giga-hertzio y la distancia en metros.

$$L_p(dB) = 32.46 + 20 * \log_{10}(x[Ghz] * 1000) + 20 * \log_{10}\left(\frac{d[m]}{1000}\right)$$

$$L_p(dB) = 32.46 + 20 * [\log_{10}(x[Ghz]) + \log_{10}(1000)] + 20 * [\log_{10}(d[m]) - \log_{10}(1000)]$$

$$L_p(dB) = 32.46 + 20 * \log_{10}(x[Ghz]) + 20 * \log_{10}(1000) + 20 * \log_{10}(d[m]) - 20 * \log_{10}(1000)$$

$$L_p(dB) = 32.46 + 20 * \log_{10}f(GHz) + 20 * \log_{10}d(m) \quad (3.8)$$

3.3.3 Principio de medición de temperatura

Un sensor es en general aquel dispositivo que detecta, o mide manifestaciones de cualidades o fenómenos físicos como temperatura, humedad relativa, velocidad, energía aceleración, entre otros. El sensor realiza la función de transductor, transformando la magnitud que se quiere medir, en otra, que facilita su medida.

La temperatura se puede definir como una medida termodinámica, del estado de un sistema, caracterizado por el calor, o transferencia de energía. Existen varias técnicas de medición de temperatura que utilizan los sensores entre las cuales están, el termopar, el termistor, los pirómetros, las bandas metálicas, la banda prohibida (band-gap), entre otros.

Un termopar (figura 3.8) tiene como principio de medición un voltaje eléctrico que produce la unión de dos conductores diferentes, cuyo valor cambia con la temperatura y es usado como medida indirecta para calcular la temperatura.



Figura 3.14 Principio de medición de temperatura por termopar [13]

Mediante la variación de la resistencia eléctrica de algunos materiales con la temperatura como principio de medición, un termistor permite realizar mediciones en algunos sensores que implementan este principio.

En el caso de los sensores que implementan pirómetros, la medición es lograda por el registro de radiación electromagnética, muy frecuentemente se realiza por emisión de luz infrarroja.

Las bandas de metal (ver figura 3.9), son una técnica que se basa en el principio de la dilatación del metal por temperatura, consiste en la unión por uno de sus extremos de dos tiras delgadas de metal de diferente coeficiente de expansión, que se dilatan a diferente velocidad por los cambios de temperatura, r depende de la temperatura del metal.

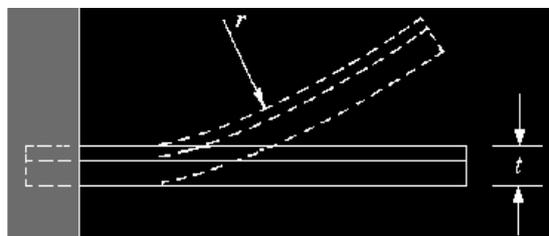


Figura 3.15 Principio de medición de temperatura por Cintas metálicas [13]

El concepto de banda prohibida [14] de semiconductores es aplicado por varias arquitecturas de sensores digitales. Internamente poseen un circuito llamado circuito de “band-gap” que genera un voltaje que varía linealmente con la temperatura.

Los semiconductores son sólidos cuyas bandas de energía (niveles de energía modificados por los que pasan los electrones) están divididas por la banda prohibida. La banda superior denominada banda de conducción posee los electrones involucrados con corrientes eléctricas y la banda inferior denominada banda de valencia contiene a los electrones involucrados en las uniones atómicas.

La banda prohibida es más estrecha en los semiconductores (1eV) que en los aislantes (5eV), por lo que los aumentos de temperatura hacen que los electrones pasen de la banda inferior a la superior, es decir la resistencia eléctrica disminuye con el aumento de la temperatura, dando lugar a una efectiva técnica de medición de la variable ambiental de temperatura.

3.3.4 Principio de medición de humedad relativa

La humedad relativa se define como la razón de la presión de vapor de agua presente en un momento determinado, respecto a la presión de vapor en saturación del agua a la misma temperatura. Por lo tanto la humedad relativa está dada en función de la temperatura y la medición es expresada como un porcentaje.

Existen diversos principios de medición para la humedad relativa aplicada por los sensores. Entre las principales técnicas se encuentra la implementación de condensadores (sistemas Humi-cap) como principio de medición; este tipo de sensores son los más difundidos en la industria y en los sistemas meteorológicos por su facilidad de automatización.

La variación de la capacidad de un condensador, depende de la humedad relativa del medio donde se encuentra. Este principio es basado en el cambio que sufre la capacidad (C) de los condensadores al variar su constante dieléctrica. Con la utilización de la mezcla gaseosa como dieléctrico entre las placas del condensador, se tiene que:

$$C = \epsilon * \frac{A}{d} [1] \quad (3.9)$$

Donde:

C: se denomina al valor de la capacidad

ϵ : es la constante dieléctrica o permeabilidad del dieléctrico

A: es el área de las placas del condensador

d: es la distancia entre las placas del condensador

La naturaleza polar del agua en presencia de un campo eléctrico genera alineaciones de moléculas, haciendo que el agua presente una constante dieléctrica de 80 (mayor que el aire que es igual a 1). Si se utiliza como dieléctrico a una mezcla gaseosa que contenga vapor de agua el valor del condensador variará en función de cantidad de moléculas de agua que estén presentes entre las placas.

En consecuencia basta con convertir el cambio de capacitancia a otro tipo de variable eléctrica fácil de evaluar. Lo cual es posible mediante un puente "Wheatstone" de condensadores, un circuito resonante, o utilizando el condensador como componente de un oscilador astable que varía su frecuencia de acuerdo al cambio de capacitancia.

Este tipo de sensores puede ser implementado con placas rectangulares paralelas o con placas cilíndricas concéntricas y se puede emplear un material higroscópico (material que tiene capacidad para absorber agua) para aumentar la concentración de agua entre las placas.

Un ejemplo de sensor capacitivo se muestra en la figura 3.10, en él se utiliza un alambre conductor como una de las placas y una malla fina de oro que permite el paso de gas como la otra placa. El dieléctrico es un material higroscópico poroso y cerámico, que permite absorber agua, aumentando así la constante dieléctrica del condensador en función de humedad relativa existente.

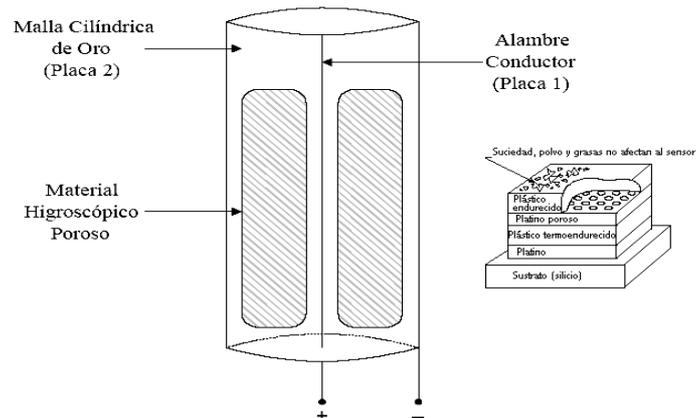


Figura 3.16 Sensor capacitivo con un material higroscópico como dieléctrico [1]

Por su naturaleza constructiva este tipo de sensores requiere de una limpieza periódica, para no obstruir la circulación del aire a través del manto y no obtener mediciones corruptas. Como características positivas de este tipo de sensores está su robustez, precisión y su aceptable rango de operación de temperatura desde -80°C a 60°C .

3.3.5 Parámetros ambientales teóricos para la crianza de aves

A partir del nacimiento, el pollo debe de vivir en condiciones ambientales óptimas. El intervalo ideal de su adultez está entre 24 y 21°C , pero se debe llegar de forma gradual a estos valores de temperatura.

En la tabla 3.1 se muestra cuales deben ser los valores óptimos de temperatura y humedad relativa a los que se debe exponer el ave durante el periodo de engorde, es notorio que debe permanecer preferiblemente entre 50 y 70% de humedad relativa durante todo el proceso.

Tabla 3.1 Comportamiento ideal de la temperatura (°C) y la humedad relativa en función de la edad del pollo [1]

Edad (días)	Humedad (%)				
	≥ 80	70	60	50	≤ 40
1	33	33	33	33*	35
2	32	32	32	32*	34
3	31	31	31	31*	33
4	30	30	30	30*	32
5	20	20	20	20*	32
6	29	29	29	29*	31
7	29	29	29	29*	31
8	28	29	29*	29*	31
9-12	27	28	28*	29	31
13-16	26	27	27*	29	31
17-20	25	26	26*	28	30
21-24	24	25*	26	27	29
25-30	23	24*	25	27	29
31-34	22	23*	25	26	28
> 35	21	22*	24	25	27

El intervalo de humedad relativa deseado tiene su justificación en la tabla 3.2, donde se muestra que la sensación térmica corporal tiene un comportamiento estable cuando la humedad relativa permanece entre 50 y 60%, un 70% es tolerable y un 80% es el límite superior al que se puede exponer el pollo en etapa de engorde.

Tabla 3.2 Sensación térmica en función de la humedad relativa [17]

TEMP. (° C)	Humedad Relativa (%)																				
	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
20	16	16	17	17	17	18	18	19	19	19	19	19	20	20	20	21	21	21	21	21	21
21	18	18	18	19	19	19	19	19	20	20	20	20	21	21	21	22	22	22	22	22	23
22	19	19	19	20	20	20	20	21	21	21	21	22	22	22	22	23	23	23	23	24	24
23	20	20	20	20	21	21	22	22	22	23	23	23	24	24	24	24	24	24	24	25	25
24	21	21	22	22	22	22	23	23	23	24	24	24	25	25	25	25	25	25	26	26	26
25	22	23	23	23	24	24	24	24	24	24	25	25	25	26	26	26	27	27	27	28	28
26	24	24	24	24	25	25	25	26	26	26	26	27	27	27	28	28	28	29	29	29	30
27	25	25	25	25	26	26	26	27	27	27	27	28	28	28	29	29	30	30	31	31	33
28	26	26	26	26	27	27	27	28	28	28	29	29	29	30	31	31	32	32	33	34	36
29	26	26	27	27	27	28	28	28	29	29	29	30	30	31	31	32	33	33	34	35	40
30	27	27	28	28	28	28	29	29	29	30	30	31	31	32	33	34	35	36	37	39	45
31	28	28	29	29	29	29	30	31	31	31	32	33	34	35	36	37	39	40	41	45	50
32	29	29	29	29	30	31	31	32	33	33	34	35	35	37	39	40	42	44	45	51	55
33	29	29	30	30	31	32	33	33	34	34	35	36	38	39	42	43	45	49	49	53	55
34	30	30	31	31	32	33	34	35	36	37	38	41	42	44	47	48	50	52	55		
35	31	32	32	32	33	35	35	37	37	40	40	44	45	47	51	52	55				
36	32	33	33	34	35	36	37	39	39	42	43	46	49	50	54	55					
37	32	33	34	35	36	38	38	41	41	44	46	49	51	55							
38	33	34	35	36	37	39	40	43	44	47	49	51	55								
39	34	35	36	37	38	41	41	44	46	50	50	55									
40	35	36	37	39	40	43	43	47	49	53	55										
41	35	36	38	40	41	44	45	49	50	55											
42	36	37	39	41	42	45	47	50	52	55											

La implementación de ventilación en el proceso de engorde se debe a su efectividad para disminuir la sensación térmica corporal del ave, en la tabla 3.3 se muestra el comportamiento de la sensación térmica en función de la velocidad del viento.

Tabla 3.3 Disminución de la sensación térmica con la velocidad del viento [17]

Temperatura (°C)	Velocidad del viento menor a 12,5 km/h	Velocidad del viento entre 12,5 y 21,5 km/h	Velocidad del viento entre 21,5 y 36 km/h	Velocidad del viento entre 36 y 50 km/h	Velocidad de viento superior a 50 km/h
20	0	-1	-3	-4	-4
21	0	-1	-3	-4	-4
22	0	-1	-2	-3	-4
23	0	-1	-2	-3	-4
24	0	-1	-2	-3	-4
25	0	-1	-2	-3	-4
26	0	-1	-2	-3	-3
27	0	-1	-2	-3	-3
28	0	-1	-2	-3	-3
29	0	0	-1	-2	-3
30	0	0	-1	-2	-2
31	0	0	-1	-2	-2
32	0	0	-1	-1	-1
33	0	0	0	-1	-1
34	0	0	0	0	0
35	0	0	0	0	+1
36	0	0	0	+1	+1

La gran importancia de mantener la temperatura radica en el consumo de alimento por parte del animal, ya que aumentos de 1°C entre el rango de 15°C y 24°C provocan reducciones en el consumo de alimento de entre el 1.0 y el 1.5% y aumentos de la temperatura por encima de 24°C disminuyen aun más el consumo de alimento y aumentan el consumo de agua.

CAPÍTULO 4 PROCEDIMIENTO METODOLÓGICO

4.1 Reconocimiento y definición del problema

La permanencia en la empresa permitió el reconocimiento del problema, el cual quedó definido como de carácter económico. Se procedió a estudiar el proceso actual y la forma de funcionamiento, con el fin de plantear mejoras y alternativas de menor costo.

La empresa planteó sus requerimientos y restricciones, dejando en claro que no se variaría la metodología de producción y cuales principios físicos se deben tomar en cuenta para en el proceso de cría y engorde de aves.

Una vez identificado el problema y en coordinación con el ingeniero asesor se planteó la meta a cumplir.

4.2 Obtención y análisis de información

Mediante un proceso de investigación en internet, bibliografía aportada por la empresa y entrevistas con expertos en el tema que trabajan para la empresa, se definieron los diferentes métodos y principios utilizados para el control de variables ambientales en el proceso de crianza y engorde del pollo.

El proceso de evaluación despachó diversas opciones para el control de variables ambientales en ambientes controlados de engorde y con eficiencias bastante aceptables, por lo que se decidió cuales tomar en cuenta en el desarrollo del proyecto.

4.3 Evaluación de las alternativas y síntesis de una solución

Mediante una selección de las posibles alternativas expuestas por otra investigación bibliográfica se procedió a proponer y consultar en la empresa sobre la viabilidad de las posibles soluciones.

Se llegó a la conclusión de dar una solución enfocada en la manipulación automática de los actuadores y en la implementación de un dispositivo administrador y sensores de bajo costo, sin incurrir en un desmejoramiento en la toma de mediciones.

Una investigación sobre sensores de temperatura y humedad relativa, abrió la posibilidad de utilizar sensores digitales que ofrecen una opción de mucho menor costo y que no implica la utilización de circuitos acondicionadores de señal, con el inconveniente de un funcionamiento poco confiable para grandes distancias (100m o más), respecto a una unidad de proceso de datos.

Se propuso un enlace de comunicación sin cables para realizar las mediciones de variables ambientales y así eliminar el problema de la distancia, que a la vez facilitaría de gran manera la instalación de los sensores en el interior de los galpones.

Dicha propuesta fue aceptada de buena forma por la empresa, por lo que se procedió a realizar la siguiente investigación de dispositivos para enlaces inalámbricos, capaces de cumplir con las especificaciones tanto de funcionamiento como de costo [18].

4.4 Implementación de la solución

El proceso de implementación fue seguido de acuerdo a un cronograma establecido previamente para el desarrollo del proyecto. Inicialmente se planteó un diseño modular con seis módulos independientes, entre los cuales se encontraba a un módulo central de proceso de datos, con un modulo de generación de salidas adjunto y cinco unidades periféricas de medición.

Se realizo el diseño independiente de los módulos y posteriormente se procedió a su construcción. Su desarrollo sufrió modificaciones a nivel de software durante todo el proceso, las cuales fueron implementadas con el fin de mejorar aspectos que a criterio de las personas expertas en el proceso, debían adaptarse de forma diferente a la planteada. Los resultados fueron los esperados en cuanto a requerimientos.

Posteriormente se procedió a una etapa de pruebas de campo, en la que primero se realizaron pruebas de confiabilidad de los sensores mediante la

comparación directa uno a uno de los sensores del sistema con los de un sistema de la casa matriz Chore-Tronics. La misma prueba sirvió para determinar la confiabilidad del enlace inalámbrico.

Durante el proceso salió a relucir una alternativa para la reducción de costos del proyecto, la cual consistió en fusionar una de las unidades de medición de temperatura y la unidad de medición de humedad relativa, ya que es indiferente para el proceso que ambos sensores estén en el mismo punto, siempre que estén ubicados cerca del centro del recinto.

Como etapa posterior se procedió a implementar el módulo de generación de salidas del sistema, para el que hubo que realizar una etapa de comunicación con la unidad central de proceso de datos tipo serial.

La implementación de un dispositivo administrador de memorias de almacenamiento masivo de datos, no fue posible de implementar directamente a la unidad central, por lo que se debió plantear un rediseño de la unidad central de proceso, pasando a ser un subsistema de tres grandes módulos.

Por último se procedió a implementar el diseño planteado de la etapa de acople del sistema con los actuadores. Una vez implementados y probados todos los módulos del sistema se procedió a unirlos y ponerlos a trabajar como un solo sistema.

Con el sistema completo funcionando se retomaron las pruebas de campo, dando lugar a la realización de la evaluación de los resultados obtenidos, para posteriormente catalogarlos como los resultados esperados y mejorados en algunos aspectos.

CAPÍTULO 5 DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LA SOLUCIÓN

La determinación de la solución más apropiada para el problema a resolver, se basó en el análisis de varios aspectos importantes mediante la comparación de ventajas y desventajas de cada opción.

Se plantearon dos opciones generales para el mantenimiento del ambiente y dos opciones generales para la implementación del enlace de comunicación, para cada caso se desarrolló la opción de mejor adaptabilidad al proceso de producción.

En el desarrollo de la solución se mantuvo un diseño modular, con el fin de establecer el funcionamiento correcto de cada etapa y facilitar la revisión de cualquier error producido y sobretodo previendo la posible necesidad de rediseño de alguna etapa.

5.1 Análisis y selección final de la solución

Para dar solución a la parte de mantenimiento de condiciones ambientales, se realizó el estudio de las técnicas de control automático (modelado matemático) y la de encendido-apagado mediante lazos de histéresis.

Como punto de partida se analizó una serie de ventajas y desventajas, como adaptabilidad y uniformidad de la planta, exactitud y su costo de implementación, situación que dio lugar a la inclinación por una de las opciones.

En ambos casos se confirmó la adaptabilidad de las técnicas (modelado matemático y lazo de histéresis). En el análisis de exactitud, un buen modelado matemático de la planta daría un error mínimo respecto a la referencia, sin embargo un lazo de histéresis bien ajustado a las necesidades en un sistema que no requiere de estricta exactitud, permite mantener condiciones aceptables para el proceso.

Los factores que inclinaron la decisión hacia la técnica de encendido-apagado por lazo de histéresis, fueron la no uniformidad de la planta y la evaluación del costo de implementación, dado que la planta siempre cambia de un galpón a otro y que la implementación de un sistema de encendido-apagado, da como resultado un sistema

económico, debido al costo de los actuadores y a la disponibilidad de los mismos en la empresa.

Respecto de la aplicación del enlace de comunicación, se mantuvieron las opciones de un lazo de corriente o un enlace inalámbrico, sin embargo, la necesidad de desarrollar un sistema de fácil instalación y de un manejo de sensores digitales de bajo costo, fue la que determinó la implementación de un enlace inalámbrico de sensores.

Las decisiones tomadas llevan a un resultado concreto, de un sistema con un enlace inalámbrico para realizar las mediciones de variables ambientales y una regulación de actuadores mediante lazo de histéresis, basado en el promedio de las mediciones de temperatura y con un límite de aplicación referente al valor instantáneo de humedad relativa.

Para la utilización del sistema se desarrolló un interfaz de usuario con teclado y pantalla, a lo que se adjuntó el valor agregado de un interfaz para puerto USB, con el fin de extraer los historiales del sistema en memorias de almacenamiento masivo.

La generación de salidas debió diseñarse como un módulo independiente con comunicación con la unidad central de proceso, ya que como parte de los requisitos del sistema, está la temporización de algunas salidas, el desgaste uniforme de los motores de los ventiladores y una cantidad considerable de salidas de activación.

5.2 Descripción del hardware

La figura 5.1 muestra un diagrama general de la solución planteada para el problema estudiado. En él, se puede observar un diseño modular del sistema, así como la incorporación del interfaz para la utilización por parte del usuario. Como se aprecia en la figura, el sistema se compone de nueve módulos generales, no obstante, el proyecto se diseñó e implementó a partir del módulo 3.

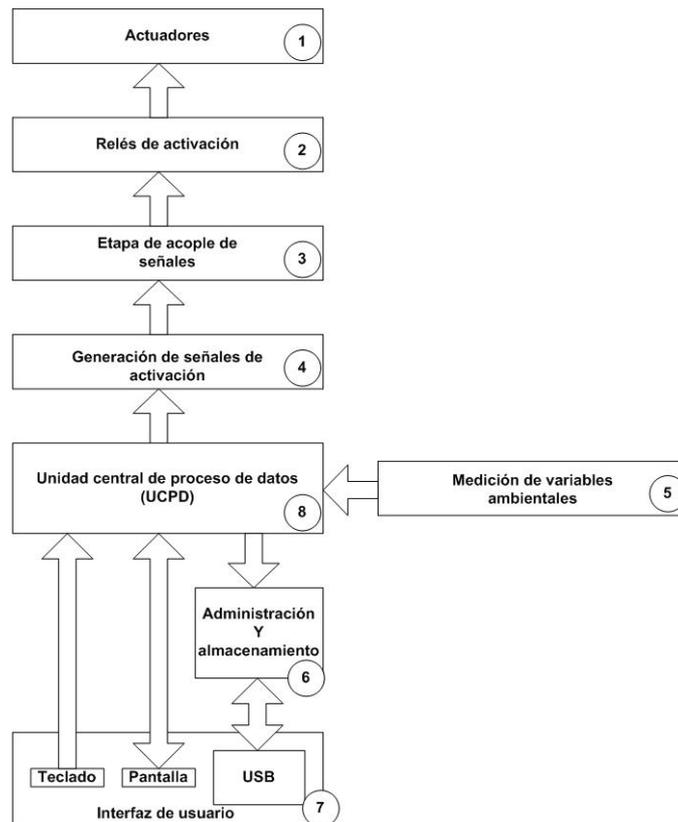


Figura 5.1 Diagrama de bloques para la solución planteada

A continuación, se da una explicación en términos generales, acerca de los módulos desarrollados de forma individual y se determina una sub-división para los casos con mayor necesidad de profundización.

5.2.1 Circuito de acople entre señales digitales y relés de activación

5.2.1.1 Diseño de una fuente de poder con dos niveles de tensión y salida de corriente mayor a 1A

Para el acople de señales fue necesario diseñar y construir una fuente de poder con dos niveles de voltaje, un circuito de salida de corriente de 2.12A y una protección de corto-circuito, como se muestra en la figura 5.2.

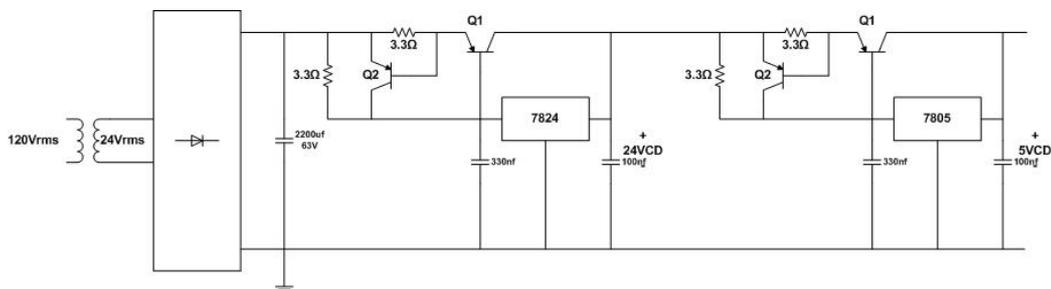


Figura 5.2 Circuito de la fuente de poder para la UCPD

La construcción de una fuente de dos niveles de voltaje, se debió a la necesidad de disparar a los relés de activación de los actuadores, llámese ventiladores, pared húmeda y calefactores.

Los relés de activación trabajan con un nivel de voltaje de 24V y poseen una impedancia aproximada de 500Ω , por lo que se consume una corriente en activación de aproximadamente 48mA. En una sola granja se cuenta con un máximo de 16 relés de activación, lo que indica que la fuente debe ser capaz de proporcionar al menos 768mA únicamente para la activación de los actuadores.

La salida máxima de un regulador de voltaje oscila alrededor de 1A que se consume dando alimentación al próximo regulador, por lo que se diseñó un circuito de salida de corriente de hasta 2.12A, con el fin de suplir las necesidades de todo el sistema.

El circuito se implementó mediante el uso de cuatro transistores de potencia PNP MJ2955 y cuatro resistencias de 3.3Ω (ver apéndice de cálculos), dicho circuito detecta la sobrecarga de salida y permite el paso de la corriente necesaria en la carga.

5.2.1.2 Diseño del circuito de acople entre las señales digitales y los relés de activación para los actuadores

Mediante la implementación de un transistor de uso común como lo es el 2N3904 (ver figura 5.3), se lleva a cabo el disparo de cada uno de los relés de activación de los actuadores.

Una señal digital es la que debe proporcionar el circuito de generador de señales de salida (activación con cero lógico), con el que el sistema realiza la manipulación de actuadores.

Con la implementación de una compuerta NOT y una resistencia de base se polariza al transistor, dicha resistencia debe tener un valor menor a los $6.25k\Omega$ (ver apéndice de cálculos),

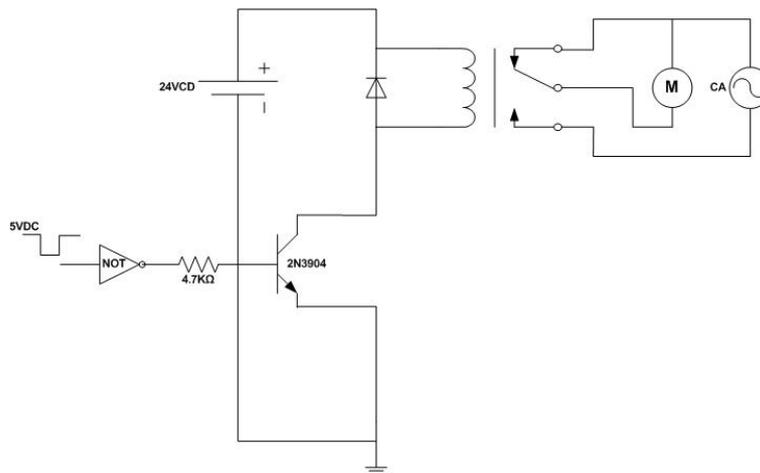


Figura 5.3 Circuito de acople entre las señales digitales y los relés de activación

5.2.2 Circuito de generación de señales de salida

La utilización de un circuito generador de señales de salida, en lugar de la toma de salidas directamente de la unidad central de proceso, se debió a la necesidad de generar 16 salidas, de las cuales dos de ellas poseen características de temporización.

El módulo decodificador-temporizador recibe sus órdenes de operación, mediante una comunicación serial a tres líneas con la unidad central de proceso, una de las cuales fue designada como línea de datos, otra para sincronización y una tercera línea para solicitud de transferencia de información.

Este circuito genera señales para la activación (en bajo) y desactivación (en alto) de los actuadores, cada una de las 16 salidas se conecta directamente a la entrada de una compuerta NOT (circuito de acople de señales), en la figura 5.4 se muestra un diagrama de bloques de la conexión de este módulo con sus vecinos.



Figura 5.4 Diagrama de bloques del módulo de generación de señales de salida

El microcontrolador utilizado en este módulo es un PIC16F876A, que utiliza su “Timer 0” para la temporización de dos de sus salidas, tres líneas de su puerto B para la comunicación serial y 16 de sus restantes líneas como salidas de activación.

5.2.3 Circuitos para la medición de variables ambientales

5.2.3.1 Unidad periférica de medición de temperatura (PT)

La unidad de medición de temperatura es un dispositivo periférico compuesto por un sensor digital de temperatura, un microcontrolador PIC y un dispositivo transceptor con antena incorporada. Su diagrama de bloques se muestra en la figura 5.5.

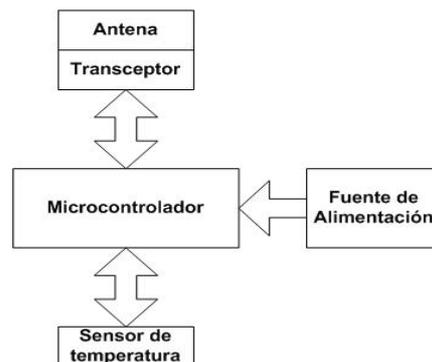


Figura 5.5 Diagrama de bloques de un PT

El sistema posee tres unidades PT y cada una de ellas se encarga de realizar la medición de temperatura una vez por cada periodo de muestreo, cuando así se le

solicite y envía un paquete de datos con la información solicitada y codificada poco tiempo después de la solicitud.

Los componentes electrónicos que conforman a un PT son: un adaptador de conector genérico de 5.5V, un receptor de batería de 9V, un “Switch”, un sensor DS18S20 de Dallas semiconductor, un microcontrolador PIC16F876A, cuatro Led’s luminosos, un cristal de 4Mhz, un botón de “Reset”, un regulador de LM2937ES y un TRW-24G. El circuito trabaja con un nivel de tensión de 3.3V, como se muestra en el diagrama de especificación de la figura 5.6.

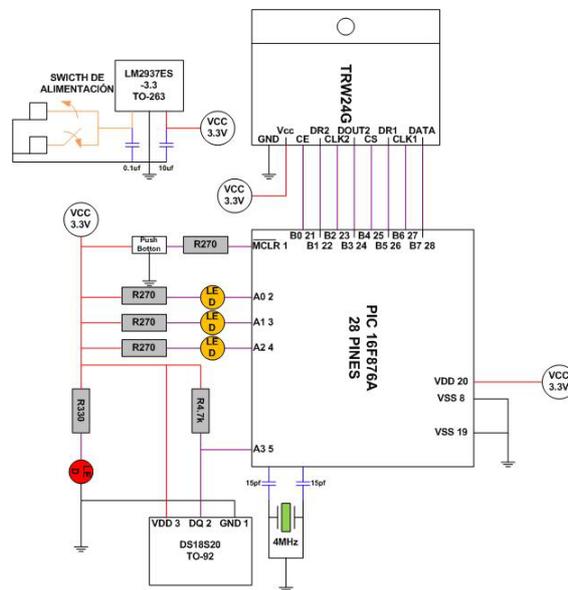


Figura 5.6 Periférico de medición de temperatura (PT)

5.2.3.2 Unidad periférica de medición de temperatura y humedad relativa (PTH)

El PTH es similar al PT con la diferencia de que se le ha incorporado un sensor de humedad relativa SHT71 de SENSIRION, con el fin de adjuntarle al paquete de información enviada la medición de humedad relativa instantánea. En la figura 5.7 se muestra su diagrama de bloques y en la figura 5.8 el diagrama específico del circuito.

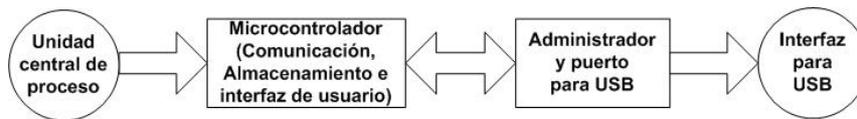


Figura 5.9 Diagrama de bloques del módulo de almacenamiento y administración de datos por puerto USB

Mediante un método de interrupción implementado a nivel de software, los datos son transferidos a la memoria EEPROM del microcontrolador implementado, el cual recibe una actualización de datos críticos cada dos minutos por parte de la UCPD.

El usuario puede hacer uso de este módulo independientemente de la operación realizada por el sistema, ya que posee un interfaz propio y muy sencillo de utilizar, por medio de “leds” luminosos que indican el estado actual y un “switch” que permite habilitar la transferencia hacia un DAM que debe ser insertado por el usuario en el puerto USB disponible en el módulo.

Como se muestra en el diagrama de especificación de la figura 5.9, el hardware se compone de un microcontrolador PIC16F876A para el almacenamiento y administración de datos, un VDRIVE2 para la sincronización y administración del puerto, cuatro “led’s” luminosos con el fin de dar indicaciones al usuario y un “switch” de dos estados para habilitar transferencias en un estado y reiniciar al módulo en el otro estado.

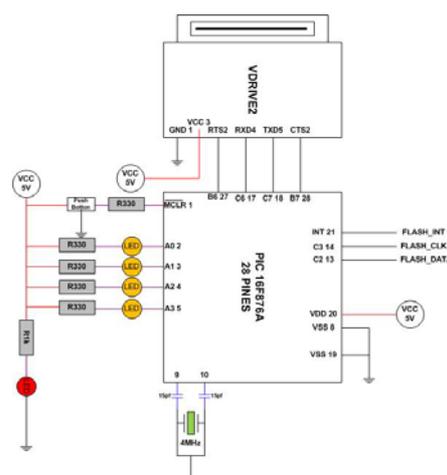


Figura 5.10 Diagrama de especificación del módulo de almacenamiento y administración de datos por puerto USB

5.2.5 Unidad central de procesamiento de datos (UCPD) e interfaz gráfica de usuario

En la figura 5.11 se puede observar un diagrama de bloques, que muestra la estructuración de la unidad. Esta unidad es el cerebro del sistema y es la que indica al resto del sistema como debe de operar, a excepción del puerto USB, sobre el que mantiene prioridad el usuario.

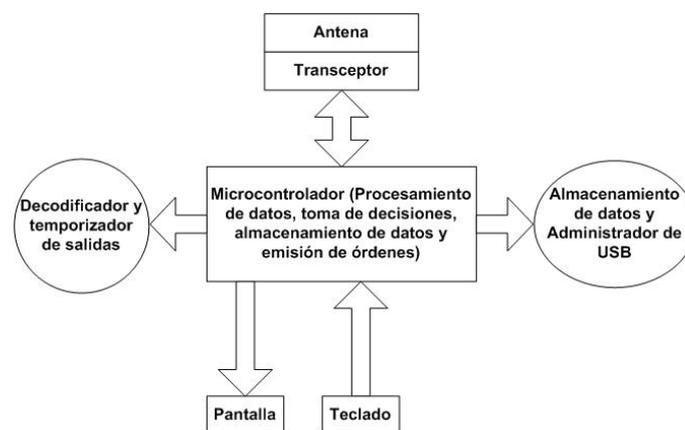


Figura 5.11 Diagrama de bloques de la unidad central de procesamiento de datos (UCPD)

Como primer sub-bloque de la unidad se encuentra el transceptor, que realiza funciones de transferencia y recepción de datos de forma inalámbrica desde las unidades periféricas de medición PT y PTH.

El microcontrolador es el bloque principal ya que captura, procesa y almacena datos, con el fin de ejecutar órdenes hacia el decodificador-temporizador y al módulo administrador de DMA.

La unidad de procesamiento de datos es la encargada también de interactuar con el usuario por medio de un teclado matricial y una pantalla LCD, por medio de los cuales el usuario puede realizar las siguientes acciones: chequeo y actualización de sensores, configuración del sistema, revisión de historiales, modificación de curva de referencias, chequeo y apagado de alarmas y visualización de fecha y hora actuales.

En la figura 5.12 se muestra el diagrama específico de conexión del circuito que tiene todas las características antes descritas y que con el fin de darle nombramiento

en todo el documento ha sido tratado con el diminutivo de su nombre UCPD es decir unidad central de procesamiento de datos.

El hardware del sistema está compuesto por un microcontrolador PIC18F4550, un transceptor y antena TRW-24G, un oscilador cristal de 4Mhz, un reloj de tiempo real DS1302, una pantalla LCD 4 x 16, un potenciómetro para resolución de la pantalla, un teclado matricial 4 x 4, un decodificador y estabilizador de teclado MM74C922, una compuerta NOT y un botón de "Reset".

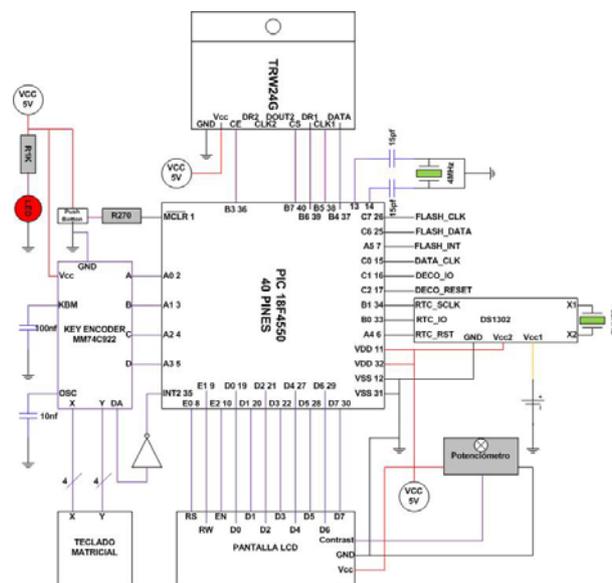


Figura 5.12 Diagrama de especificación de la unidad central de procesamiento de datos

5.2.6 Especificación de hardware del sistema completo

En la figura 5.13 se muestra el diagrama que especifica la composición de hardware de todo el sistema. En él, se dan los detalles de todos los elementos que conforman el sistema y cuyos detalles han sido descritos módulo a módulo en secciones anteriores.

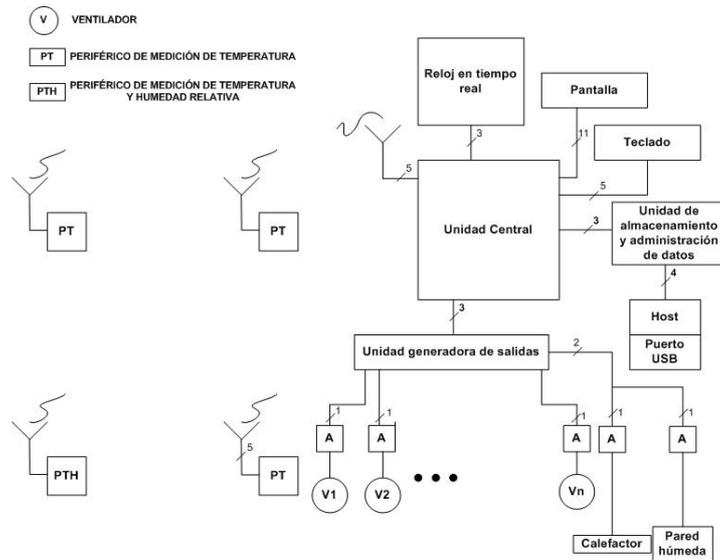


Figura 5.13 Diagrama de especificación del sistema

5.3 Descripción del software

El software del sistema se divide en cuatro programas principales para microcontroladores diferentes y a su vez estos se dividen en subrutinas para propósitos específicos.

Los cuatro programas corresponden a uno para el PIC principal (UCPD), otro para el PIC que genera todas las salidas del sistema (decodificador-temporizador), otro para el PIC que respalda los datos y puede enviarlos a un DAM y por último el programa de medición y envío de datos de las unidades periféricas PT y PTH.

5.3.1 Software para la unidad central de proceso de datos (UCPD)

El software de la UCPD consiste en 7 subrutinas, las cuales realizan varias funciones específicas, se dividen en 6 subrutinas para interfaz de usuario que componen el menú principal, de las cuales se mencionará únicamente su función, ya que no requirieron aplicaciones matemáticas ni algoritmos para su programación.

La subrutina más importante es la de captura de datos, actualización de parámetros en el sistema y toma de decisiones, de la cual si se dará detalle de su programación.

5.3.1.1 Visualización de disponibilidad de sensores y valor de su última medición.

Esta parte del software se encarga de presentar al usuario en pantalla, una visualización de la última medición muestreada por el sistema. Presenta una estructura ordenada, en la que se puede hacer distinción del último valor emitido por cada periférico, así como un mensaje de N_S en caso de fallo de transmisión o no disponibilidad de la unidad periférica de medición.

5.3.1.2 Configuración del sistema

Es un software secuencial en el cual se sigue paso a paso la solicitud visual para el usuario, acerca de todos los parámetros de configuración necesarios para su funcionamiento.

Este software solicita al usuario configurar los siguientes parámetros:

- Numero de sensores de temperatura con los que cuenta el sistema
- Si tiene o no sensor de humedad relativa
- El numero de ventiladores instalados
- Ingresar la cantidad de días de ventilación mínima, así como los tiempos de encendido de ventilación mínima y pared húmeda
- Definición de fecha, hora y día de la semana
- Definición del día en el que se encuentra el proceso

En la figura 5.17 se muestra el diagrama de flujo con el que se programó la propiedad de auto-escalabilidad del periodo de muestreo, cuya dependencia está directamente atribuida al número de ventiladores con los que cuenta el sistema para su funcionamiento.

Una vez que el usuario intenta salir de la subrutina de configuración el sistema automáticamente configura y auto escala el tiempo de muestreo como se describe a continuación.

La acción 0 es donde se da la lectura desde memoria no volátil del número de ventiladores totales configurados, para poder realizar la ubicación dentro del escalafón de tiempos de muestreo disponibles y se efectúa cada vez que se configura al sistema.

Desde la acción 1 hasta la acción 6 se dará una asignación al tiempo de muestreo, como se muestra en la siguiente tabla donde T corresponde a una interrupción que se da cada 9s y en la rutina de atención Ts se compara con un contador que lleva el número de veces que se ha dado la interrupción, para que al igualarse se inicie un periodo de muestreo.

Tabla 5.1 Asignación para el tiempo de muestreo en función del número de ventiladores

Acción	Asignación
1	$T_s = 3 T$
2	$T_s = 4 T$
3	$T_s = 5 T$
4	$T_s = 6 T$
5	$T_s = 7 T$
6	$T_s = 8 T$

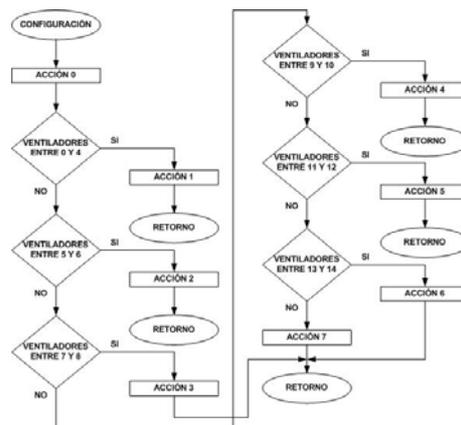


Figura 5.14 Diagrama de flujo para la auto-escalabilidad del periodo de muestreo en función del número de ventiladores instalados

5.3.1.3 Software para el ingreso de la curva de referencia de temperatura y humedad relativa

Es un software que únicamente forma una matriz en la que almacena temporalmente los datos ingresados por el usuario y cuando este elije guardarlos, la matriz se almacena en la memoria EEPROM del microcontrolador.

5.3.1.4 Software para despliegue del historial de datos críticos de temperatura y humedad relativa

Es un programa que muestra por medio de la pantalla cuales han sido hasta ese momento los datos críticos desde el arranque del sistema. Presenta valores de temperatura máxima y mínima por día, la hora en que fueron tomados los valores y los valores máximos y mínimos de humedad relativa por día (sin la hora).

5.3.1.5 Software para el despliegue de causas de alarmas producidas

Programa que le indica al usuario cuales son las posibles fuentes de error en el sistema cuando se activa una alarma. Las dos alarmas disponibles son una para la no conectividad con uno o más periféricos y otra para diferencias marcadas en las mediciones que presenta uno o más periféricos respecto al promedio (diferencias de 4°C).

5.3.1.6 Programa para el despliegue de fecha y hora actuales

Es un programa que le proporciona al usuario una fuente visual de información, que contiene la hora, fecha y día de la semana, generalmente útil cuando se desea corroborar algún suceso importante en el proceso de producción.

5.3.1.7 Software de captura, actualizaciones y toma de decisiones del sistema

El periodo de muestreo define la constancia con que se efectúa este software, ya que cada periodo de muestreo se lleva a cabo una captura de datos, una actualización del sistema y la toma de decisiones correspondiente, en ese mismo orden secuencial.

La primera parte del proceso que corresponde a la captura de datos, que fue programada de acuerdo al diagrama de flujo presentado en la figura 5.14. Dicha rutina se repite cuatro veces en un solo periodo de muestreo ya que el sistema dispone físicamente de cuatro periféricos de medición (3 PT y 1 PTH).

El proceso de comunicación se efectúa con un periférico a la vez por medio de un método de encuesta, en el cual la UCPD se envía un paquete de datos que contiene el identificador de red y el identificador de periférico, que es capturado por cada periférico para efectuar una auto-identificación, que le permite al periférico saber si se le está realizando una solicitud de información.

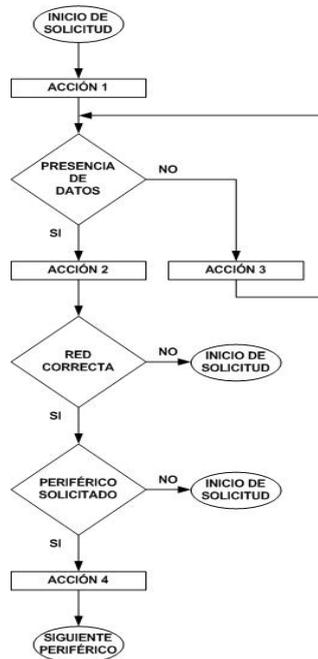


Figura 5.15 Diagrama de flujo de la captura de datos por parte de la UCPD

Como se muestra en la figura 5.14 el inicio de solicitud lleva a la acción 1, que consiste primero en configurar al transceptor como transmisor (TX), luego se realiza la elaboración del paquete de información a enviar (ver tabla 5.1), se envía el paquete e inmediatamente después se configura al transceptor como receptor (RX), para esperar respuesta del periférico solicitado (acción 3).

Tabla 5.2 Asignación para cada byte de los paquetes de información transmitidos

Byte (BUF[n])	BUF[0]	BUF[1]	BUF[2]	BUF[3]	BUF[4]	BUF[5]
Paquete enviado	ID_PERI	CERO	CERO	CERO	ID_RED	CERO
Paquete que se debe recibir	CERO	ID_PERI	TEMP	HUM	CERO	ID_RED

Una vez obtenida la respuesta (acción 2), se procede a un proceso de verificación de correspondencia tanto de la red indicada (ID_RED) como del periférico solicitado (ID_PERI) (ver tabla 5.1), así como la captura de los valores de temperatura instantánea (TEMP) y humedad relativa instantánea (HUM, solo en un PTH) (parte de la acción 4). Para completar la

acción 4 se calcula el promedio de temperatura (auto escaldo con el número de sensores disponibles) y se actualizan las banderas para la generación de alarmas.

La actualización del sistema se lleva a cabo una vez finalizada la captura de datos. Se actualiza el día de operación, los valores críticos (temperaturas máximas y mínimas, humedades máximas y mínimas) y se realiza la actualización del historial en el módulo para DAM para puerto USB (cada 2 minutos). Este proceso fue programado mediante el diagrama de flujo explicado a continuación y presentado en la figura 5.15.

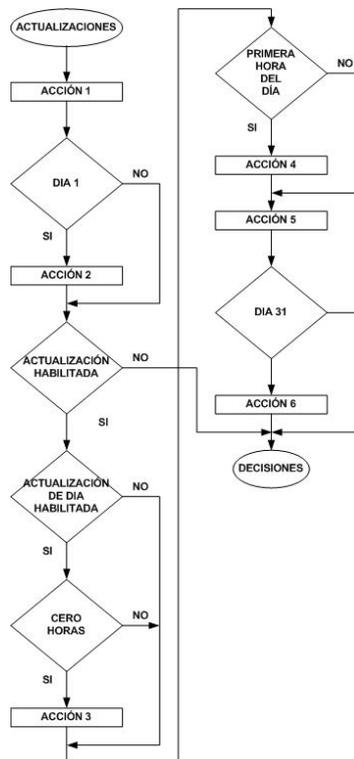


Figura 5.16 Diagrama de flujo de la rutina de actualización del sistema por periodo de muestreo

La acción 1 consiste en darle lectura al día almacenado en memoria, luego mediante una comparación se verifica si es el día 1, en caso de serlo, se habilitan las actualizaciones (acción 2). Mediante una serie de restricciones que evitan cambiar de día cuando no se debe, se evalúa su necesidad de cambio, en caso de ser necesario el cambio, se efectúa y se actualiza en memoria (acción 3).

Una vez que el sistema detecta la primera hora del día, habilita el cambio para poderlo efectuar al día siguiente (acción 4). Se repite la lectura del día (acción 5) con el fin de comprobar si el sistema ya se encuentra en el día 31, de no ser así se efectúa la acción 6 que consiste en actualizar los valores críticos en la UCPD y en el módulo de manejo de DAM (cada 2 minutos) y de ser así se establece la referencia del día 30 y se detiene el almacenamiento de valores críticos.

Una vez que se ha actualizado el sistema prosigue con la toma de decisiones, la cual se efectúa siguiendo el diagrama de flujo presentado en la figura 5.16, a la que se le dará detalle a continuación.

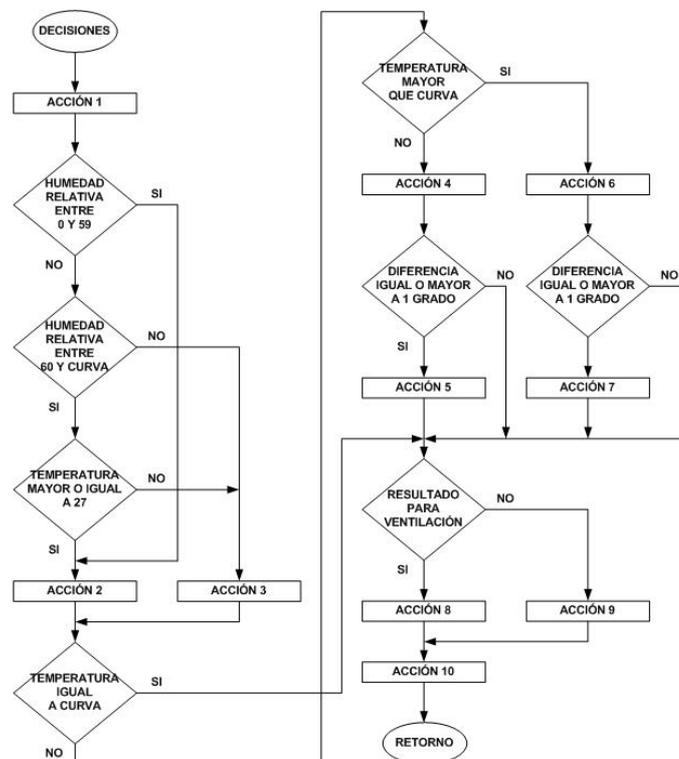


Figura 5.17 Diagrama de flujo para la rutina de toma de decisiones del sistema por periodo de muestreo

La acción 1 es donde se realiza la lectura de los valores de la curva para ese día (las referencias de temperatura y humedad), previamente ingresados por el usuario y la lectura del parámetro utilizado para calcular el número de ventiladores a encender.

Cuando la humedad relativa instantánea se encuentre entre 0% y 59%, no se debe evaluar ningún otro factor para encender la pared húmeda (acción 2).

Si la humedad relativa está entre 60% y el valor ingresado a la curva para ese día, se debe valorar también el valor del promedio de temperatura, si éste sobrepasa los 27°, se debe dar la orden de encender la pared húmeda (con encendido temporizado). En caso de no cumplir con los requisitos se ejecuta la acción de apagado completo de la pared húmeda (acción 3).

Una comparación de los valores de temperatura promedio y la referencia determinan la siguiente acción a tomar, en caso de ser iguales se mantiene la condición anterior.

Cuando la referencia es mayor que el promedio, se realiza la resta respectiva (acción 4) y se evalúa el resultado si es mayor a uno, se enciende la bandera del calefactor y se deshabilita el resultado de la resta (acción 5), si no, se mantiene la condición anterior.

Para el caso de ser mayor el promedio, se realiza la respectiva resta (acción 6), si el resultado es mayor a 1, se habilita el resultado para un cálculo posterior y se modifica en cero lógico la bandera de calefacción (acción 7), si no, se mantiene la condición anterior.

Si el resultado de la resta está habilitado, se utiliza para dividirlo entre el parámetro ingresado por el usuario y leído en la acción 1, su resultado dará el número de ventiladores a encender (acción 8), si no está habilitado el resultado de la resta, el número de ventiladores a encender siempre será uno (acción 9).

Como acción 10, se efectúa el envío de parámetros a seguir desde la UCPD hacia el decodificador-temporizador, en un protocolo serial a tres líneas, con una señal de aviso, un reloj de sincronización y un línea de datos.

5.3.2 Software para el módulo de generación de salidas

Con el fin de poder darle ejecución a todas las ordenes emitidas por la unidad de proceso, el modulo de generación de salidas del sistema recibe mediante comunicación serial a tres líneas; nueve bytes de información, para su recepción se deshabilitan las

interrupciones con el fin de no perder datos importantes y posteriormente se realiza una compensación de tiempo.

Una vez concretado el último byte el módulo debe decodificar la información recibida y de una forma secuencial empezar encender o apagar a los actuadores, así como controlar la temporización de los dispositivos que la requieren, como lo son la pared húmeda y los ventiladores asignados para ventilación mínima de los primeros días del proceso.

El diagrama de flujo mostrado en la figura 5.18 muestra la estructura de programación seguida para la elaboración del software de este módulo. Una vez detectado un uno lógico en la línea de solicitud de atención, se procede a efectuar la lectura de la información (acción 1).

Ya con la información disponible, se analiza el día actual del sistema, ya que de eso depende la habilitación de algunos actuadores, si el día actual está entre los primeros 15 días del proceso, el calefactor es habilitado, lo que indica que debe de chequearse su bandera, para que en caso de ser uno lógico efectuar su encendido (acción 2), después de los primeros quince días el calefactor es deshabilitado.

Siguiendo un parámetro ingresado por el usuario y transferido a éste módulo, se realiza una evaluación de días en ventilación mínima, que van desde el día 1 hasta el día que haya definido el usuario en la configuración, en los cuales solo deben funcionar uno o dos ventiladores de forma temporizada en periodos de 10 minutos (acción 3) y definidos también por el usuario.

Finalizados los días de ventilación mínima el sistema debe entrar en ventilación regulada (acción 9), donde debe encender la cantidad de ventiladores que la UCPD haya determinado necesarios para el instante (acción 4). En este mismo período se debe analizar el requerimiento de pared húmeda, es decir chequear la bandera de pared húmeda y encenderla en caso de ser necesario (acción 5) o apagarla en caso contrario (acción 6).

Para el funcionamiento de la pared húmeda se requiere de un control de temporización, por lo que se hace uso de la misma subrutina que se utilizó en ventilación mínima.

Como función adicional el software chequea la necesidad de rotación de inicio, que es donde se lee el dato del primer ventilador encendido la ultima vez, se le suma uno y se vuelve a guardar en memoria, con el fin de iniciar la nueva secuencia en otro ventilador, proceso que es efectuado y deshabilitado en día 1 (acción 7) y habilitado en día 2 (acción 8).

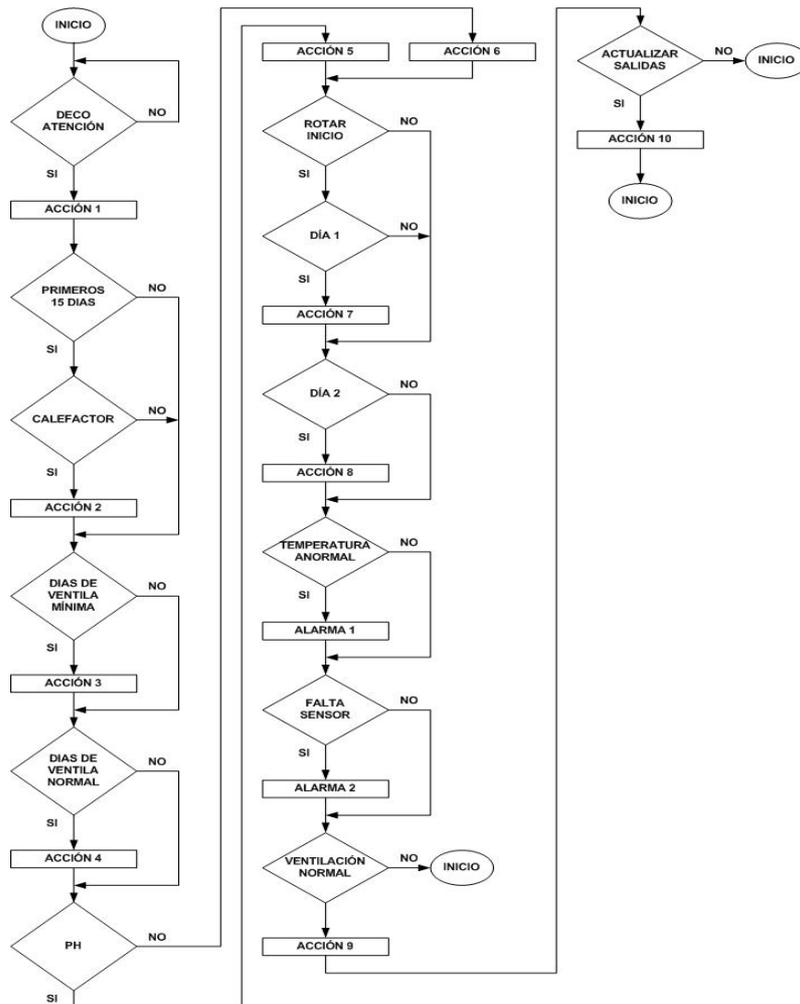


Figura 5.18 Diagrama de flujo del modulo de salida

Los 9 bytes leídos corresponden respectivamente a: tiempo de encendido de la pared húmeda, días en ventilación mínima, tiempo de encendido de la ventilación mínima, motor 1 y 2 a encender en ventila mínima, el día en el que se encuentra el

sistema, dato con información de los actuadores, ventiladores disponibles y numero de ventiladores a encender.

5.3.3 Software para el módulo de extracción de datos vía puerto USB

En este software la acción 1 corresponde a la inicialización del dispositivo administrador de flash por USB VDRIVE 2 y a la habilitación de la interrupción externa que es la que se encarga de actualizar la información en memoria.

Una vez solicitada la atención por parte del usuario, el modulo deshabilita las interrupciones externas y limpia la pila que recibe datos desde el VDRIVE 2, con el fin de servir de forma exclusiva al usuario y no realizar actualizaciones (acción 2).

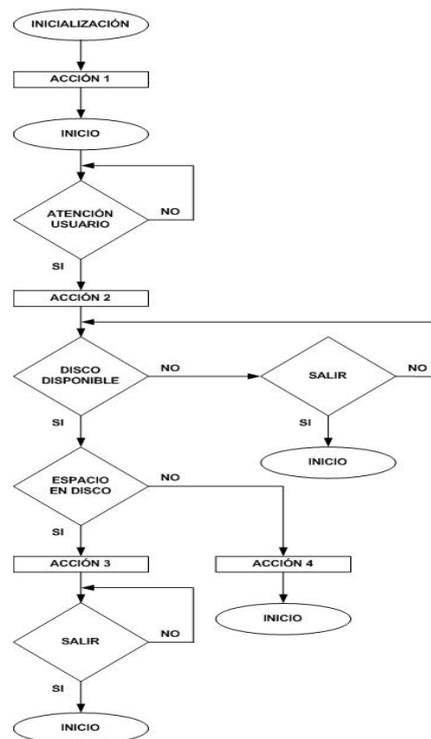


Figura 5.19 Diagrama de flujo de la rutina de almacenamiento de datos en DAM

Mediante comandos dados por el fabricante del VDRIVE 2, el software hace chequeo de la disponibilidad del DAM, en caso de no encontrarlo hace un chequeo del

“Switch” con el fin de corroborar el deseo del usuario de proseguir y volver a preguntar por el dispositivo o de omitir la acción y retornar al inicio.

En caso de haber espacio suficiente en el DAM, el módulo procede a transferirle toda la información almacenada en la memoria EEPROM del microcontrolador (acción 3) y posteriormente entra en estado de espera de re-inicialización por parte del usuario.

5.3.4 Software para la medición de variables ambientales y envío de datos en unidades periféricas PT y PTH

El software implementado en cada módulo periférico de medición, realiza un proceso inicial de configuración del dispositivo transceptor y posteriormente efectúa una configuración como receptor (RX).

Acto seguido a la inicialización y configuración del TRW-24G, el software entra en un lazo de espera hasta detectar la presencia de datos, cuando esto sucede, se realiza su captura y almacenamiento en una matriz de datos (acción 1).

Ya con los datos almacenados se procede a realizar su verificación, que consiste en comprobar si el identificador de red y el identificador de periférico, coinciden con los preestablecidos en el módulo.

Cuando el software verifica una coincidencia de los identificadores de red y de periférico, procede a efectuar la medición de temperatura en el caso de un PT y la medición de temperatura y humedad relativa en el caso de un PTH. Posteriormente asigna el valor respectivo a la matriz de datos y envía el paquete hacia la UCPD (acción 2).



Figura 5.20 Diagrama de flujo para la rutina de medición y envío de datos en periféricos

CAPÍTULO 6 ANÁLISIS DE RESULTADOS

6.1 Comprobación experimental del funcionamiento de los transceptores TRW-24G

En la figura 6.1 se presenta un análisis en el espectro de frecuencias de la banda de 2.4GHz, donde se muestran los resultados obtenidos al enviar información arbitraria al espacio libre mediante un transceptor TRW-24G.

El transceptor fue configurado para una tasa de transferencia de 1Mbps, una potencia de salida de -5dB y definido a transmitir en el canal 48 de la banda es decir cercano a los 2448Mhz.

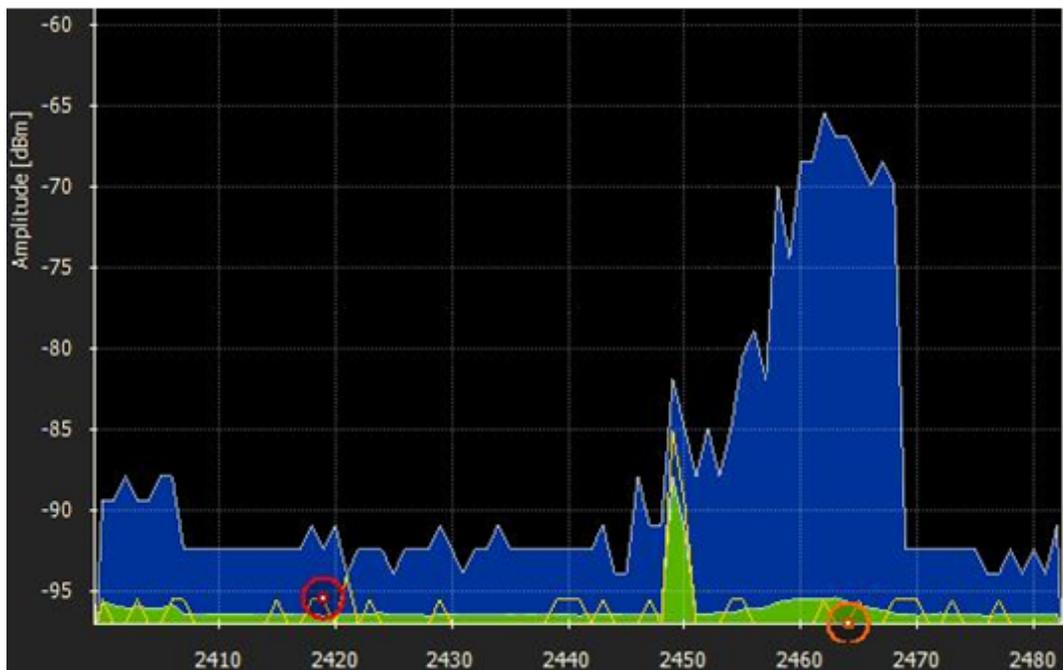


Figure 6.1 Espectro obtenido con un “Wi-Spy”, con la configuración en el canal 48 del TRW-24Ghz

El análisis en el espectro fue realizado por medio de un dispositivo llamado “Wi-Spy” de la marca “©Metageek, LLC (2005 – 2008)”, que trabaja conectado a un

ordenador en uno de los puertos USB y que mediante el programa “Chanalizer”, que despliega un análisis en la banda de 2.4Ghz, para: Wi-Fi (802.11 b/g/n), hornos de microondas y teléfonos inalámbricos.

Esta comprobación dio punto de partida para lograr establecer un enlace concreto entre dos unidades independientes, a partir de los mismos parámetros de configuración. Sin embargo mediante una serie de pruebas de campo se pudo comprobar que se obtienen mejores resultados con los TRW-24Ghz, configurándoles a una mayor potencia de salida.

6.2 Parámetros de configuración del TRW-24G con mejores resultados experimentales

En la tabla 6.1, se proporcionan los parámetros de configuración del TRW-24Ghz utilizado, con los mejores resultados de implementación obtenidos, ya que no se detectaron errores de transmisión en intervalos prolongados de tiempo y con transmisiones cada 10 segundos, fomentando de esta manera el BER0.1% especificado por el fabricante.

Tabla 6.1 Parámetros de configuración del TRW-24Ghz, con los que se obtuvieron mejores resultados

Tasa de transferencia	Longitud de dirección	CRC	Canal	Potencia de salida de TX
250kbps	40bits	16bits	23 (2423Mhz)	0dBm

Respecto a distancias alcanzadas de enlace, con potencias de 0dB se logra un enlace seguro de comunicación, ya que es posible alcanzar distancias de hasta 260m (comprobado). Si la potencia es de -5dB la atenuación es notoria, tal y como se refleja en los cálculos de pérdidas en el espacio libre (ver apéndice de cálculos), donde 5dB de menos hacen que el enlace deje de ser seguro.

6.3 Pruebas de establecimiento de enlace inalámbrico y comprobación de confiabilidad de los sensores implementados DS18S20 y STH71

Las mediciones mostradas en la tabla 6.2, son el resultado de dos de las pruebas de campo realizadas, con el fin de establecer la estabilidad del enlace de comunicación inalámbrico y poner a prueba la confiabilidad de los sensores implementados.

Es notorio como los resultados son completamente validos y confiables ya que en ninguno de los casos, se da un error mayor al de la incertidumbre del sensor DS18S20, que es de $\pm 0.5^\circ$, respecto al promedio.

Tabla 6.2 Resultados obtenidos en pruebas de comparación de cada sensor con los del sistema comercial

Sistema	Sensor de temperatura 1	Sensor de humedad relativa			
Comercial	24.5°	24.3°	24.0°	24.0°	71%
Implementado	24.5°	24.5°	24.5°	24.0°	71%
Comercial	29.0°	29.0	29.3°	30.0°	65%
Implementado	29.0°	29.5°	29.5°	29.5°	65%

6.4 Pruebas de campo del sistema completo en operación

En la tabla 6.3 se muestran los resultados de tres pruebas de campo, realizadas con la implementación del sistema completo, en los cuales se registraron valores críticos de no más de 1.5° en períodos de hasta 40 minutos. Como factor importante en las pruebas realizadas se logró establecer un tiempo de respuesta de los sensores no mayor a los 30 segundos.

Tabla 6.3 Resultados de pruebas del sistema completo en un galpón experimental

	T. Max.	H.Max.	T.Min.	H.Min.	H.Max.	H.Min.
Prueba 1	23.5 (23.0)	16:10	23.0 (23.0)	16:10	91%	90%
Prueba 2	33.0 (32.0)	10:50	31.0 (32.0)	10:40	56%	55%
Prueba 3	31.5 (30.0)	11:20	31.0 (30.0)	11:20	56%	56%

6.5 Desglose de presupuesto y costo total

En la tabla 6.4 se presenta un desglose de los componentes necesarios para la implementación del proyecto así como de su costo actual, se ha calculado un 40% en base al costo total como porcentaje de ganancia del proyecto.

Tabla 6.4 Componentes electrónicos y eléctricos utilizados, su precio y presupuesto total

Dispositivo	precio unitario	cantidad	precio sumado
LP 580 Transformador 120VAC-12VAC	\$15.09	1	\$15.09
VDRIVE2 Vinculum VNC1L module (www.hwtech.com/)	\$28.95	1	\$28.95
LM2937ES Reguladores 3.3V (www.hwtech.com/) TO-263	\$2.39	5	\$11.95
LM7805 - Regulador de voltaje 5V (www.hwtech.com/) TO-220-3	\$0.67	1	\$0.67
L7424CV - Regulador de voltaje 24V (www.hwtech.com/) TO-220-3	\$0.73	1	\$0.73
PIC 18F4550 Principal(parts.digikey.com)	\$8.35	1	\$8.35
PIC16F876A Transmisión(parts.digikey.com)	\$7.70	6	\$46.20
DS18S20 Sesor de temperatura (parts.digikey.com)	\$2.28	4	\$9.12
LCD 16x4 - Microtips (microtroniks.com)	\$31.00	1	\$31.00
Teclado 4x4 (microtroniks.com)	\$28.70	1	\$28.70
74C922 - codificador de teclado 16(microtroniks.com)	\$11.50	1	\$11.50
TRW 24G de LAIPAC (microtroniks.com)	\$37.50	5	\$187.50
SHT71 Sensor de humedad (sensiron.com)	\$35.99	1	\$35.99
4MHz cristal (microtroniks.com)	\$1.50	7	\$10.50
Adaptador 120CA-5CD	\$6.00	6	\$36.00
C-001R 32.76 Cristal de 32.76khz	\$0.32	1	\$0.32
C Capacitor	\$0.56	25	\$14.00
R Resistencia	\$0.05	32	\$1.60
T Transistores	\$0.09	16	\$1.44
MJ2955 Transistor NPN potencia	\$0.71	4	\$2.84
74LS04 NOT	\$0.90	3	\$2.70
Conector de cargador (es.sourcingmap.com)	\$1.29	4	\$5.16
CR2032 Lithium Battery 3V	\$3.50	1	\$3.50
Subtotal			\$493.81
Ganancia 40%			\$197.52
Imprevistos			\$49.38
Total			\$740.72

CAPÍTULO 7 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1 Conclusiones

- El protocolo serial de la UCPD tiene una velocidad de transferencia de 76.517bps.
- La capacidad de salidas del sistema permite conectar hasta 14 ventiladores y un calefactor, con capacidad de temporizar 2 de las 14 salidas.
- El sistema tiene una salida temporizada (en periodos de 10 minutos) para pared húmeda o un aspersor.
- La disminución de temperatura a partir del proceso de aspersion se activa a partir de los 27°C, condicionada por el valor de la humedad relativa instantánea.
- El enlace de comunicación inalámbrica con una velocidad de transferencia de 250kbps, tiene un alcance máximo aproximado de entre 250 y 270 metros.
- El enlace de comunicación inalámbrica con una velocidad de transferencia de 1Mbps tiene un alcance máximo aproximado de entre 120 y 150 metros.
- La temperatura promedio oscila alrededor de la referencia con $\pm 1.5^{\circ}\text{C}$.
- El sistema tiene la capacidad de una auto-escalabilidad de tiempo de muestreo, en función del número de ventiladores instalados, en múltiplos de un periodo de 9s.
- El costo total del sistema es de \$740.72, para una reducción en el costo total del sistema de control de \$1719.28.

7.2 Recomendaciones

- Se recomienda optimizar la rutina de despliegue en pantalla LCD para disminuir el número de líneas a utilizar del microcontrolador principal.
- Es recomendable optimizar las rutinas de los periféricos para poder desplegar su valor instantáneo de temperatura en “display’s” de 7 segmentos.
- Se debe hacer un análisis de la posible utilización de un microcontrolador con mayor capacidad de almacenamiento en memoria EEPROM.
- Se recomienda desarrollar un protocolo de comunicación que permita comunicación entre periféricos con el fin de extender el alcance del sistema.
- Se debe modificar la rutina de comunicación con el VDRIVE2 para ser controlado vía teclado.
- Es aconsejable reproducir una copia del prototipo para la comprobación del funcionamiento del identificador de red.

BIBLIOGRAFÍA

[1] Ruiz A, Sandí E. y Solano M. “Control de temperatura y humedad en galpones túnel”. Laboratorio de estructuras de microcontroladores. Costa Rica: ITCR. 2007.

[2] Comercial. [En Línea]. Spraying Systems Co. 2008. << http://www.spray.com/products/automatic_nozzles.asp >> [consultado octubre 2008].

[3] Comercial. [En Línea]. albintrotter.com. 2008. <<[http://www.albintrotter.cl/store/FotoProducto.asp?ImgProd=C162Grande\(1\).jpg](http://www.albintrotter.cl/store/FotoProducto.asp?ImgProd=C162Grande(1).jpg) >> [consultado octubre 2008].

[4] Sin Nombre. [En Línea]. Textoscientíficos.com. 2005. <<<http://www.textoscientificos.com/redes/modulacion/ask> >> [consultado octubre 2008].

[5] Magdaleno E. “Diseño y síntesis de un modulador BPSK, QPSK y FSK”. [En línea]. España : Universidad de la laguna. 2004. <<http://w3.iec.csic.es/ursi/articulos_gandia_2005/articulos/ED3/34.pdf>>[consultado octubre 2008].

[6] Sin Nombre. “Modulación por desplazamiento de frecuencia Gausiana”. [En Línea]. Wikipedia.org. 2008. <http://es.wikipedia.org/wiki/Modulaci%C3%B3n_por_desplazamiento_de_frecuencia_gausiana>> [consultado julio 2008].

[7] Sin nombre. “Red – Definición de conceptos sobre TCP/IP”. [En línea]. España: Universidad de Zaragoza<[http://moncayo.unizar.es/sicuz/docutec.nsf/84b21c6bc56e018cc1256fdb0044926b/8bd0fab31099b531c12573cb0047fb2b/\\$FILE/dt0114.pdf](http://moncayo.unizar.es/sicuz/docutec.nsf/84b21c6bc56e018cc1256fdb0044926b/8bd0fab31099b531c12573cb0047fb2b/$FILE/dt0114.pdf)>> [consultado septiembre 2008].

[8] Fierro P. y Otero B. “Tecnología inalámbrica Bluetooth”. [En Línea]. Bolivia: Universidad Pontificia Bolivariana. << <http://www.angelfire.com/electronic/pfierro/docs/BLUETOOTH.pdf> >> [consultado noviembre 2008].

[9] Reyes J. "Computación para ingenieros". [En línea]. México: Universidad Nacional Autónoma de México. <<www.profesores.fi-b.unam.mx/jareyc/Comping/TI.ppt>> [consultado septiembre 2008].

[10] Sin Nombre. "Multiplexación por división de tiempo". [En Línea]. Wikipedia.org. 2008. << http://es.wikipedia.org/wiki/Multiplexaci%C3%B3n_por_divisi%C3%B3n_de_tiempo >> [consultado noviembre 2008].

[11] Alpuente J. "Sistemas de Telecomunicación. Propagación de ondas". [En línea]. España: Universidad de Alcalá. 2005 << <http://agamenon.tsc.uah.es/Asignaturas/ittst/po/apuntes/2RayosPlana.pdf>>> [consultado octubre 2008].

[12] Sin nombre. "Cálculo de radioenlaces: balance de potencias". [En línea]. Radioptica.com. 2008. << http://www.radioptica.com/Radio/calculo_radioenlaces.asp >> [consultado octubre 2008].

[13] Nava R. "Como se mide la temperatura". [En Línea]. México: UAM-Azcapotzalco. <<<http://www.azc.uam.mx/publicaciones/miscelanea/num2/termome.htm>>> [consultado septiembre 2008].

[14] Nuza S.y Zocco D. "Determinación de la banda de energía prohibida (*Band Gap*) en semiconductores de Si y Ge". [En Línea]. Argentina: Universidad de Buenos Aires. 2001. <<http://www.fisicarecreativa.com/informes/infor_mod/bandgap2k1a.pdf>> [consultado en septiembre 2008].

[15] Oliveros I. "El clima: factor determinante en la producción avícola". [En Línea]. Venezuela: Centro nacional de investigaciones agropecuarias. 2003. <<<http://www.ceniap.gov.ve/ceniaphoy3/articulos/n1/texto/yoliveros.htm>>> [consultado septiembre 2008].

[16] Sin nombre. "Diccionario de cáncer". [En Línea]. USA: National Cancer Institute. <<http://www.cancer.gov/templates/db_alpha.aspx?lang=spanish&CdrID=44063>> [consultado octubre 2008].

[17] Sin nombre. "La sensación térmica". [En Línea]. 2004. <<http://www.tutiempo.net/silvia_larocca/Temas/Met21.htm>> [consultado septiembre 2008].

[18] Sin Nombre. "Compare DCBT-24N with TRW-2.4G". [En línea].<<<http://www.decibit.com/Factsheet.pdf>>> [consultado noviembre 2008].

[19] Sin nombre. "Introducción a Wi-Fi (802.11)". [En línea]. WI-FI™. 2008 <<<http://es.kioskea.net/wifi/wifiintro.php3>>> [consultado septiembre 2008].

[20] Hernández N. "Desarrollo de una antena patrón para la medición de interferencias en la banda de 20-200MHz". Tesis. México: Instituto Politécnico Nacional.

APÉNDICES

A1 Cálculos

Cálculos de pérdidas en el espacio libre

Cálculo de las pérdidas en el espacio libre (ecuación 3.8) para un enlace de 150m, a 1Mbps y en canal 23 con un TRW24G.

$$L_p(dB) = 32.46 + 20 * \log(2.423) + 20 * \log(150m)$$

$$L_p = 32.46dB + 7.6871dB + 43.5218dB$$

$$L_p = 83.6689dB$$

Cálculo de las pérdidas en el espacio libre para un enlace de 280m, a 1Mbps y en canal 23 con un TRW24G.

$$L_p(dB) = 32.46 + 20 * \log(2.423) + 20 * \log(280)$$

$$L_p = 32.46dB + 7.6871 + 48.9432$$

$$L_p = 89.0903dB$$

Cálculo de las pérdidas en el espacio libre para un enlace de 300m y a 2.423Ghz.

$$L_p(dB) = 32.46 + 20 * \log(2.423) + 20 * \log(300)$$

$$L_p = 32.46dB + 7.6871dB + 49.5424dB$$

$$L_p = 89.6895dB$$

Cálculo de las pérdidas en el espacio libre para un enlace de 300m y a 2.527Ghz.

$$L_p(dB) = 32.46 + 20 * \log(2.527) + 20 * \log(300)$$

$$L_p = 32.46dB + 8.0521dB + 49.5424dB$$

$$L_p = 90.0545dB$$

Cálculo para la fuente de alimentación de la unidad central de proceso

Cálculo del voltaje del capacitor posterior a la rectificación de onda completa

$$V_{CD-Capacitor} = V_{ACrms} * \sqrt{2}$$

$$V_{CDcapacitor} = 24V_{pp} * \sqrt{2} = 33.94V_{CD}$$

Cálculo de R_{SC} para establecer el límite máximo de corriente de la fuente

$$R_{SC} = \frac{V_{BEQ2}}{I_{SC}} \rightarrow I_{SC} = \frac{V_{BEQ2}}{R_{SC}}$$

$$I_{sc} = \frac{7V}{3.3\Omega} = 2.12A$$

Cálculo para la polarización de los transistores 2N3904

Datos importantes:

I_C : 200mA (Max)

h_{FE} : 100 (Min) – 300 (Max), $I_C=10mA$

h_{FE} : 60 (Min), $I_C=50mA$

h_{FE} : 30 (Min), $I_C=100mA$

Consumo del relé:

$$I_C = \frac{24V}{500\Omega} = 48mA$$

Por lo que se utiliza 60, que es el mínimo, para hallar la corriente de base:

$$I_B = \frac{48mA}{60} = 0.8mA$$

La resistencia deberá permitir esa corriente, por lo tanto

$$R = \frac{5V}{0.8mA} = 6.25k\Omega$$

Se debe polarizar al transistor con una resistencia menor para garantizar su funcionamiento.

Cálculo de la tasa de transferencia de la UCPD en protocolo serial a tres líneas

Se transmiten 8 bits por cada 104.510ms, por lo tanto

$$T.T = \frac{8bits}{0.10451s} = 76.548bps$$

A2 Glosario y abreviaturas

UCPD: unidad central de procesamiento de datos

DAM: dispositivos de almacenamiento masivo

PT: periférico de medición de temperatura

PTH: periférico de medición de temperatura y humedad relativa.

TX: transmisor

RX: receptor

ID_RED: número identificador de red

ID_PERI: número identificador de periférico

WPA: acceso inalámbrico protegido

DECT: telecomunicaciones inalámbricas mejoradas digitalmente

TDM: multiplexión por división de tiempo

WLAN: red inalámbrica de área local

USB: bus universal serial o conductor universal en serie

LPRF: radio frecuencia de baja potencia

ZWave: estándar de comunicación de radio frecuencia a baja potencia

WAP: protocolo de aplicación inalámbrico

A3 Manual de usuario

Documento Independiente.

A4 Información sobre la empresa

A4.1 Descripción de la empresa

Corporación PIPASA es una empresa dedicada a la producción avícola, mercado en el cual opera en distintas áreas, principalmente en el área de producción de carne de pollo y sus derivados.

La empresa actualmente cubre alrededor del 70% del mercado nacional, ya que absorbió a la antigua empresa AS de oros, ha incursionado en mercados como el nicaragüense, mercado en el cual abre espacio día con día y tiene proyectos para seguir creciendo a nivel internacional.

Las instalaciones centrales se ubican en la Ribera de Belén y una parte importante de operaciones administrativas se realizan en las instalaciones de Aguilar y Solís, ubicadas 1km al oeste de la empresa "Firestone".

Detalles generales:

Nombre: Corporación PIPASA

Dirección: 1.5km al oeste de la "Firestone" en la Ribera de Belén, en las instalaciones de Aguilar y Solís, Belén, Heredia.

Apartado postal: 22-4005

Teléfono: 2293-4801 / 2293-4000 / 2293-0479(Fax)

Actividad principal: Producción y comercialización de pollo en Costa Rica, exportando a Centroamérica y el Caribe.

A4.2 Descripción del departamento donde se trabajó

El departamento en el que se desarrolló el proyecto, fue el departamento de Producción Pecuaria, donde el encargado de la gerencia actualmente es el señor

Francisco Chaves y el ingeniero a cargo es Mauricio Granados, quienes fueron los promotores del proyecto.

A5 Estándares desarrollados por la IEEE para comunicaciones inalámbricas

El protocolo IEEE 802.11 o Wi-Fi es un estándar de protocolo de comunicaciones del IEEE que define el uso de los dos niveles inferiores de la arquitectura OSI (capas física y de enlace de datos), especificando sus normas de funcionamiento en una WLAN [19].

Tabla 9.1 Estándares de la IEEE para WLNA

Estándares 802.11x (redes de área local WLAN)	Frecuencia (GHz)	Tasa de transferencia (Mbps)	Especificación
802.11	2.4	De 1 a 2	Primer estándar Wi-Fi
802.11 a	5	54	Incompatible con b, poco desarrollada. Nombre: WiFi5
802.11b	2.4	De 5 a 11	Comercial y no necesita de permiso de uso, sufre de interferencias por microondas, teléfonos inalámbricos y otros. Nombre: WiFi
802.11c	2.4	-	Versión modificada del 802.11d para compatibilidad con 802.11
802.11d	Frecuencia permitida por el país donde se usa	-	Nombre: Internacionalización
802.11e	-	-	Mejora transmisiones de audio y video Nombre: Mejora la calidad del servicio Usa el protocolo IAPP, cambia de un punto de
802.11f	-	-	acceso a otro Nombre: Itinerancia
802.11g	2.4	54	Más comercial y no necesita de permiso de uso, sufre de interferencias por microondas, teléfonos inalámbricos y otros
802.11h	-	-	Une el 802.11 con el europeo, en frecuencia y potencia
802.11i	-	-	Mejora seguridad de transferencia de datos, utiliza AES. Compatible con a, b y g.
802.11j	-	-	Para regulación japonesa, en frecuencia y potencia
802.11n	2.4 y 5	300Mbps (80-100 estables)	Teóricamente llegaría a los 600Mbps

ANEXOS

Anexo B1. Hoja de datos del microcontrolador PIC18F4550.



MICROCHIP PIC18F2455/2550/4455/4550

28/40/44-Pin, High-Performance, Enhanced Flash, USB Microcontrollers with nanoWatt Technology

Universal Serial Bus Features:

- USB V2.0 Compliant
- Low Speed (1.5 Mb/s) and Full Speed (12 Mb/s)
- Supports Control, Interrupt, Isochronous and Bulk Transfers
- Supports up to 32 Endpoints (16 bidirectional)
- 1-Kbyte Dual Access RAM for USB
- On-Chip USB Transceiver with On-Chip Voltage Regulator
- Interface for Off-Chip USB Transceiver
- Streaming Parallel Port (SPP) for USB streaming transfers (40/44-pin devices only)

Power-Managed Modes:

- Run: CPU on, peripherals on
- Idle: CPU off, peripherals on
- Sleep: CPU off, peripherals off
- Idle mode currents down to 5.8 μ A typical
- Sleep mode currents down to 0.1 μ A typical
- Timer1 Oscillator: 1.1 μ A typical, 32 kHz, 2V
- Watchdog Timer: 2.1 μ A typical
- Two-Speed Oscillator Start-up

Flexible Oscillator Structure:

- Four Crystal modes, including High Precision PLL for USB
- Two External Clock modes, up to 48 MHz
- Internal Oscillator Block:
 - 8 user-selectable frequencies, from 31 kHz to 8 MHz
 - User-tunable to compensate for frequency drift
- Secondary Oscillator using Timer1 @ 32 kHz
- Dual Oscillator options allow microcontroller and USB module to run at different clock speeds
- Fail-Safe Clock Monitor:
 - Allows for safe shutdown if any clock stops

Peripheral Highlights:

- High-Current Sink/Source: 25 mA/25 mA
- Three External Interrupts
- Four Timer modules (Timer0 to Timer3)
- Up to 2 Capture/Compare/PWM (CCP) modules:
 - Capture is 16-bit, max. resolution 5.2 ns (Tcy/16)
 - Compare is 16-bit, max. resolution 83.3 ns (Tcy)
 - PWM output: PWM resolution is 1 to 10-bit
- Enhanced Capture/Compare/PWM (ECCP) module:
 - Multiple output modes
 - Selectable polarity
 - Programmable dead time
 - Auto-shutdown and auto-restart
- Enhanced USART module:
 - LIN bus support
- Master Synchronous Serial Port (MSSP) module supporting 3-wire SPI (all 4 modes) and I²C™ Master and Slave modes
- 10-bit, up to 13-channel Analog-to-Digital Converter module (A/D) with Programmable Acquisition Time
- Dual Analog Comparators with Input Multiplexing

Special Microcontroller Features:

- C Compiler Optimized Architecture with optional Extended Instruction Set
- 100,000 Erase/Write Cycle Enhanced Flash Program Memory typical
- 1,000,000 Erase/Write Cycle Data EEPROM Memory typical
- Flash/Data EEPROM Retention: > 40 years
- Self-Programmable under Software Control
- Priority Levels for Interrupts
- 8 x 8 Single-Cycle Hardware Multiplier
- Extended Watchdog Timer (WDT):
 - Programmable period from 41 ms to 131s
- Programmable Code Protection
- Single-Supply 5V In-Circuit Serial Programming™ (ICSP™) via two pins
- In-Circuit Debug (ICD) via two pins
- Optional dedicated ICD/ICSP port (44-pin devices only)
- Wide Operating Voltage Range (2.0V to 5.5V)

Device	Program Memory		Data Memory		I/O	10-Bit A/D (ch)	CCP/ECCP (PWM)	SPP	MSSP		EUSART	Comparators	Timers 8/16-Bit
	Flash (bytes)	# Single-Word Instructions	SRAM (bytes)	EEPROM (bytes)					SPI	Master I ² C™			
PIC18F2455	24K	12288	2048	256	24	10	2/0	No	Y	Y	1	2	1/3
PIC18F2550	32K	16384	2048	256	24	10	2/0	No	Y	Y	1	2	1/3
PIC18F4455	24K	12288	2048	256	35	13	1/1	Yes	Y	Y	1	2	1/3
PIC18F4550	32K	16384	2048	256	35	13	1/1	Yes	Y	Y	1	2	1/3

Anexo B2. Hoja de datos del microcontrolador PIC16F876A.



PIC16F87X

28/40-Pin 8-Bit CMOS FLASH Microcontrollers

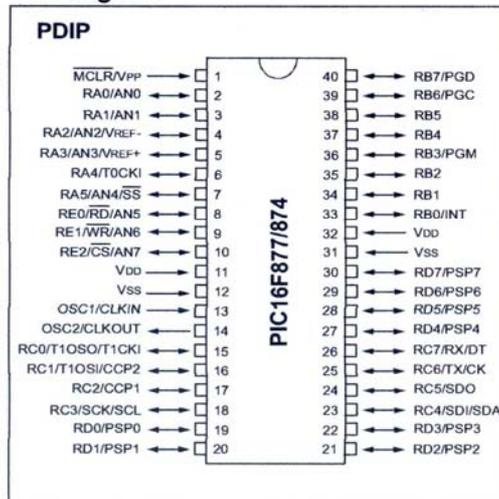
Devices Included in this Data Sheet:

- PIC16F873
- PIC16F876
- PIC16F874
- PIC16F877

Microcontroller Core Features:

- High performance RISC CPU
- Only 35 single word instructions to learn
- All single cycle instructions except for program branches which are two cycle
- Operating speed: DC - 20 MHz clock input
DC - 200 ns instruction cycle
- Up to 8K x 14 words of FLASH Program Memory,
Up to 368 x 8 bytes of Data Memory (RAM)
Up to 256 x 8 bytes of EEPROM Data Memory
- Pinout compatible to the PIC16C73B/74B/76/77
- Interrupt capability (up to 14 sources)
- Eight level deep hardware stack
- Direct, indirect and relative addressing modes
- Power-on Reset (POR)
- Power-up Timer (PWRT) and
Oscillator Start-up Timer (OST)
- Watchdog Timer (WDT) with its own on-chip RC
oscillator for reliable operation
- Programmable code protection
- Power saving SLEEP mode
- Selectable oscillator options
- Low power, high speed CMOS FLASH/EEPROM
technology
- Fully static design
- In-Circuit Serial Programming™ (ICSP) via two
pins
- Single 5V In-Circuit Serial Programming capability
- In-Circuit Debugging via two pins
- Processor read/write access to program memory
- Wide operating voltage range: 2.0V to 5.5V
- High Sink/Source Current: 25 mA
- Commercial, Industrial and Extended temperature
ranges
- Low-power consumption:
 - < 0.6 mA typical @ 3V, 4 MHz
 - 20 µA typical @ 3V, 32 kHz
 - < 1 µA typical standby current

Pin Diagram



Peripheral Features:

- Timer0: 8-bit timer/counter with 8-bit prescaler
- Timer1: 16-bit timer/counter with prescaler,
can be incremented during SLEEP via external
crystal/clock
- Timer2: 8-bit timer/counter with 8-bit period
register, prescaler and postscaler
- Two Capture, Compare, PWM modules
 - Capture is 16-bit, max. resolution is 12.5 ns
 - Compare is 16-bit, max. resolution is 200 ns
 - PWM max. resolution is 10-bit
- 10-bit multi-channel Analog-to-Digital converter
- Synchronous Serial Port (SSP) with SPI™ (Master
mode) and I²C™ (Master/Slave)
- Universal Synchronous Asynchronous Receiver
Transmitter (USART/SCI) with 9-bit address
detection
- Parallel Slave Port (PSP) 8-bits wide, with
external RD, WR and CS controls (40/44-pin only)
- Brown-out detection circuitry for
Brown-out Reset (BOR)

Anexo B3. Hoja de datos del modulo transceptor TRW24G.

WENSHING®

TRW-24G

V1.04

High Frequency Transceiver Module (GFSK)



■ **Specification :**

- * Frequency Range: 2.4~2.527GHz
- * Modulate Mode: GFSK
- * Work Voltage: 3V
- * Channel: 128
- * Output Power: 0dBm
- * Data Rate: 1Mbps; 250Kbps
- * Operating Temperature: -40~+85 Centigrade
- * The longest range : 280m (250Kbps); 150m (1Mbps)
- * No dead spaces in reception.
- * Built in antenna.
- * Competitive price.
- * Apply for various type of products: Wireless Joysticks, Wireless Speaker, Wireless Earphone , Wireless Cell phone , Wireless Intercom , Wireless Mouse, Wireless Keyboard and Data Communication.....

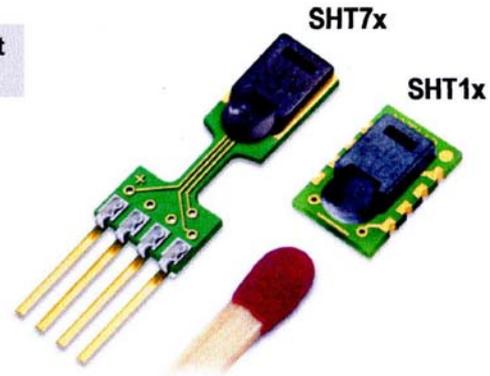
TRW-24G Data Sheet P.1

Anexo B4. Hoja de datos del sensor de humedad STH71.

SENSIRION
THE SENSOR COMPANY

SHT1x / SHT7x Humidity & Temperature Sensor

Evaluation Kit
Available



- Relative humidity and temperature sensors
- Dew point
- Fully calibrated, digital output
- Excellent long-term stability
- No external components required
- Ultra low power consumption
- Surface mountable or 4-pin fully interchangeable
- Small size
- Automatic power down

SHT1x / SHT7x Product Summary

The SHTxx is a single chip relative humidity and temperature multi sensor module comprising a calibrated digital output. Application of industrial CMOS processes with patented micro-machining (CMOSens® technology) ensures highest reliability and excellent long term stability. The device includes a capacitive polymer sensing element for relative humidity and a bandgap temperature sensor. Both are seamlessly coupled to a 14bit analog to digital converter and a serial interface circuit on the same chip. This results in superior signal quality, a fast response time and insensitivity to external disturbances (EMC) at a very competitive price. Each SHTxx is individually calibrated in a precision humidity chamber. The calibration coefficients are programmed into

the OTP memory. These coefficients are used internally during measurements to calibrate the signals from the sensors.

The 2-wire serial interface and internal voltage regulation allows easy and fast system integration. Its tiny size and low power consumption makes it the ultimate choice for even the most demanding applications.

The device is supplied in either a surface-mountable LCC (Leadless Chip Carrier) or as a pluggable 4-pin single-in-line type package. Customer specific packaging options may be available on request.

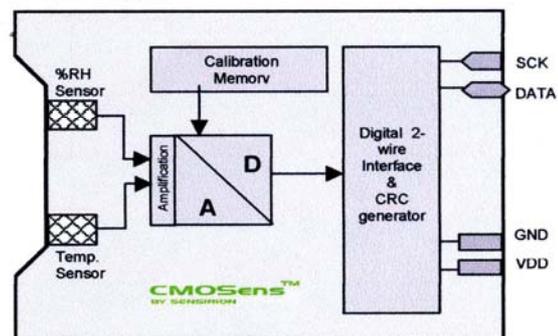
Applications

- _ HVAC
- _ Automotive
- _ Consumer Goods
- _ Weather Stations
- _ Humidifiers
- _ Dehumidifiers
- _ Test & Measurement
- _ Data Logging
- _ Automation
- _ White Goods
- _ Medical

Ordering Information

Part Number	Humidity accuracy [%RH]	Temperature accuracy [K] @ 25 °C	Package
SHT10	±4.5	±0.5	SMD (LCC)
SHT11	±3.0	±0.4	SMD (LCC)
SHT15	±2.0	±0.3	SMD (LCC)
SHT71	±3.0	±0.4	4-pin single-in-line
SHT75	±1.8	±0.3	4-pin single-in-line

Block Diagram



Anexo B5. Hoja de datos del sensor de temperatura DS18S20.



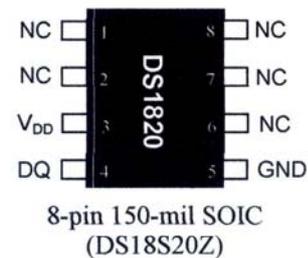
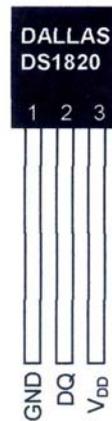
www.dalsemi.com

DS18S20 High Precision 1-Wire® Digital Thermometer

FEATURES

- Unique 1-wire interface requires only one port pin for communication
- Each device has a unique 64-bit serial code stored in an on-board ROM
- Multi-drop capability simplifies distributed temperature sensing applications
- Requires no external components
- Can be powered from data line. Power supply range is 3.0V to 5.5V
- Measures temperatures from -55°C to $+125^{\circ}\text{C}$ (-67°F to $+257^{\circ}\text{F}$)
- $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ accuracy from -10°C to $+85^{\circ}\text{C}$
- 9-bit thermometer resolution
- Converts temperature in 750 ms (max.)
- User-definable nonvolatile alarm settings
- Alarm search command identifies and addresses devices whose temperature is outside of programmed limits (temperature alarm condition)
- Applications include thermostatic controls, industrial systems, consumer products, thermometers, or any thermally sensitive system

PIN ASSIGNMENT



PIN DESCRIPTION

GND - Ground
DQ - Data In/Out
 V_{DD} - Power Supply Voltage
NC - No Connect

DESCRIPTION

The DS18S20 Digital Thermometer provides 9-bit centigrade temperature measurements and has an alarm function with nonvolatile user-programmable upper and lower trigger points. The DS18S20 communicates over a 1-wire bus that by definition requires only one data line (and ground) for communication with a central microprocessor. It has an operating temperature range of -55°C to $+125^{\circ}\text{C}$ and is accurate to $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ over the range of -10°C to $+85^{\circ}\text{C}$. In addition, the DS18S20 can derive power directly from the data line ("parasite power"), eliminating the need for an external power supply.

Each DS18S20 has a unique 64-bit serial code, which allows multiple DS18S20s to function on the same 1-wire bus; thus, it is simple to use one microprocessor to control many DS18S20s distributed over a large area. Applications that can benefit from this feature include HVAC environmental controls, temperature monitoring systems inside buildings, equipment or machinery, and process monitoring and control systems.

Anexo B6. Hoja de datos del VDRIVE2 Vinculum VNC1L.



Future Technology
Devices International Ltd.



VINCULUM

BINDING USB TECHNOLOGIES

VDrive2

Vinculum VNC1L Module



<http://www.vinculum.com>

Copyright © Future Technology Devices International Ltd. 2007

1.2 Features

- Uses F.T.D.I.'s VNC1L embedded USB host controller I.C. device.
- USB 'A' type socket to connect USB Flash disk.
- Traffic indicator LED.
- 2 mm (0.08") pitch 8 pin connector.
- 8-way header interconnect cable provided.
- Only four signals to connect, excluding power and ground.
- Jumper selectable UART or SPI interfaces.
- Single 5V supply input.
- Uses Vinculum VDAP firmware and command set.
- Enclosure with snap in place clips allows for easy front panel mounting.
- Program or update firmware via USB Flash disk or via UART interface.
- VNC1L firmware programming control pins PROG# and RESET# brought out onto internal jumper interface (only accessible on internal module PCB)
- VDrive2 is a Pb-free, RoHS complaint development module.
- Schematics, and firmware files available for download from the [Vinculum website](http://www.vinculum.com).