

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA

FACULTAD DE INGENIERÍA ENSENADA

PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO

EN CIENCIAS E INGENIERÍA



**SISTEMA DE SUPERVISIÓN DE TEMPERATURA DE UN INVERNADERO
MEDIANTE UNA COMUNICACIÓN INALÁMBRICA**

TESIS

que para cubrir parcialmente los requisitos necesarios para obtener el grado de

MAESTRO EN INGENIERÍA

Presenta:

EDGAR RAFAEL MORALES JIMÉNEZ

M.C. Everardo Inzunza González
Director de tesis

Ensenada, Baja California, México. Diciembre del 2008.

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA

FACULTAD DE INGENIERÍA

UNIDAD ENSENADA

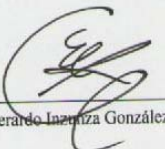
SISTEMA DE SUPERVISIÓN DE TEMPERATURA DE UN INVERNADERO MEDIANTE UNA COMUNICACIÓN INALÁMBRICA

TESIS

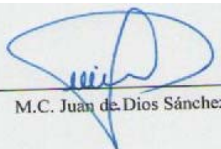
Que para obtener el grado de maestro en ingeniería presenta:

Edgar Rafael Morales Jiménez

Aprobada por:



M.C. Everardo Inzunza González



M.C. Juan de Dios Sánchez López



Dr. Enrique Efrén García Guerrero



Dr. Oscar Roberto López Bonilla



Dra. Rosa Martha López Gutiérrez

Ensenada Baja California, México. Diciembre del 2008.

RESUMEN de la tesis de **Edgar Rafael Morales Jiménez**, presentada como requisito parcial para la obtención del grado de MAESTRO EN INGENIERIA del programa de maestría y doctorado en ciencias e ingeniería de la UABC. Ensenada Baja California, México. Noviembre del 2008.

SISTEMA DE SUPERVISIÓN DE TEMPERATURA DE UN INVERNADERO MEDIANTE UNA COMUNICACIÓN INALÁMBRICA

**Resumen de Tesis
Aprobado por:**



M C. Everardo Inzunza González

El presente trabajo muestra el desarrollo de un sistema para la monitorización de temperatura de un invernadero, utilizando una comunicación inalámbrica entre el sensor y una computadora, ubicada a una distancia de 200 m dentro de una cabina. El sistema involucra el diseño y construcción de: un circuito transceiver, un protocolo propietario y un software. El software presenta una interfaz gráfica sencilla y amigable, con el propósito de brindar al usuario un control total sobre el sistema, el programa de cómputo fue desarrollado con la plataforma de Labview. El sistema realizado mantiene automáticamente un microclima dentro de un invernadero, al asignarle parámetros tales como; temperatura máxima, temperatura mínima y periodo de muestreo. Además brinda al usuario la opción de un control manual, para que, en cualquier momento el usuario pueda realizar alguna actividad como lo es; ascender o descender cortinas, encender ó apagar el calentón. También se muestra el desarrollo de un protocolo propietario, sencillo pero muy eficaz, así mismo se presenta el diseño y construcción de un circuito transceiver.

Palabras clave: Transceiver – Protocolo - Software.

DEDICATORIAS

Con todo mi amor y cariño...

A mi madre

Francisca Jiménez Jiménez,

gracias por creer en mí y
enseñarme que la
perseverancia y el esfuerzo
son el camino para lograr
objetivos...

A mi padre

Rafael Morales Jiménez,

por saber guiarme y
apoyarme en las decisiones
que he tomado en la vida,
cada una de sus palabra me
hacen más fuerte...

A mis hermanas

Rocío Guadalupe y

Olga Verónica,

por estar siempre a mi lado
cuando las necesito...

AGRADECIMIENTOS

A **Dios** por brindarme la dicha de culminar una más de mis metas y darme fuerzas para salir adelante en cada tropiezo.

A la Familia **Morales Jiménez** aunque hemos pasado momentos difíciles siempre han estado apoyándome y brindándome todo su amor.

A la Familia **Velazco Lara** por esa estupenda amistad y por permitirme compartir como un miembro más, el amor de su familia.

A mi director de tesis al **M.C. Everardo Inzunza González** por su tiempo, paciencia, sus consejos, por compartir desinteresadamente sus amplios conocimientos y experiencia y brindarme su apoyo en todos los aspectos.

A los miembros del comité de tesis: Dr. **Oscar López Bonilla** y al **M. C. Juan de Dios Sánchez López** gracias por el tiempo empleado en la revisión de esta tesis.

A la **Universidad Autónoma de Baja California “UABC”** por brindarme la oportunidad para superarme profesionalmente.

Al **Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología “CONACYT”** por el gran apoyo económico otorgado.

A mis **Maestros** por sus consejos, enseñanzas y ayuda durante mi formación profesional.

A mis **compañeros** de escuela y **amigos** quienes estuvieron conmigo y compartimos tantas aventuras y experiencias.

A los **Ingenieros** encargados de los invernaderos en San Quintín, por el gran apoyo brindado en este proyecto.

Gracias a todas aquellas personas que de una u otra forma han pasado y dejado huella por mi vida y que no menciono, ustedes también han sido parte importante de mi vida, me han ayudado a crecer y eso no tiene valor...

Edgar Rafael Morales Jiménez.

ÍNDICE

CAPÍTULO I

I INTRODUCCIÓN

I.1	Planteamiento del problema.....	2
I.2	Motivación del trabajo.....	5
I.3	Objetivo General.....	6
I.4	Objetivos Específicos.....	6
I.5	Organización del trabajo.....	6

CAPÍTULO II

II CARACTERÍSTICAS DE LOS INVERNADEROS

II.1	Invernaderos planos o tipo parral.....	12
II.2	Invernaderos tipo raspa y amagado.....	13
II.3	Invernaderos asimétricos.....	14
II.4	Invernaderos de capilla (a una o dos agua).....	14
II.5	Invernaderos a doble capilla.....	15
II.6	Invernaderos tipo túnel o semicilíndrico.....	16
II.7	Invernaderos de cristal o tipo Venlo.....	17

CAPÍTULO III

III DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL HARDWARE

III.1	Selección de los Componentes.....	19
III.1.1	Transmisor y Receptor.....	19
III.1.2	Antena.....	22
III.1.3	Interfaz MAX232.....	23

ÍNDICE (Continuación)

CAPÍTULO III (Continuación)

III.1.6	Circuito Integrado 74LS245.....	24
III.1.7	Puerto Serie.....	25
III.1.8	Puerto Paralelo.....	27
III.2	Diseño y fabricación del prototipo.....	29
III.2.1.	Diseño, fabricación y evaluación del transmisor.....	30
III.2.2	Diseño, fabricación y evaluación del receptor.....	33
III.2.3	Diseño, fabricación y evaluación del transceiver.....	34
III.2.4	Prototipo final.....	37

CAPÍTULO IV

IV DESARROLLO DEL PROTOCOLO PROPIETARIO

IV.1	Modelo de referencia OSI.....	40
IV.2	Protocolo propietario.....	41
IV.2.1	Identificador del microcontrolador.....	42
IV.2.2	Comandos.....	43
IV.2.3	Código de Verificación.....	44
IV.2.4	Descripción de comandos.....	44

CAPÍTULO V

V DESARROLLO DEL SOFTWARE

V.1	Diseño de la interfaz gráfica.....	46
V.2	Descripción del programa.....	46
V.2.1	Interfaz gráfica Principal.....	47

ÍNDICE (Continuación)

CAPÍTULO V (Continuación)

V.2.2	Menú Inicializar.....	48
V.2.3	Graficado de temperatura.....	53
V.2.4	Control Manual.....	55
V.2.4.1	Subir cortina izquierda.....	57
V.2.4.2	Bajar cortina izquierda.....	58
V.2.4.3	Subir cortina derecha.....	59
V.2.4.4	Bajar cortina derecha.....	60
V.2.4.5	Subir ambas cortinas.....	61
V.2.4.6	Bajar ambas cortinas.....	61
V.2.4.7	Encender calentón.....	63
V.2.4.8	Apagar calentón.....	64
V.2.5	Menú Archivo.....	65

CAPÍTULO VI

VI RESULTADOS

VI.1	Desarrollo del prototipo tr	67
	ansmisor.....	
VI.2	Desarrollo del prototipo receptor.....	69
VI.3	Desarrollo del prototipo transceiver.....	71
VI.4	Desarrollo del producto final.....	73
VI.5	Mediciones.....	78
VI.5.1	Mediciones en banda base.....	81
VI.5.2	Mediciones de consumo de corriente.....	83
VI.5.3	Medición del desfaseamiento de las señales transmitidas y recibidas.....	84
VI.5.4	Mediciones en RF.....	88

ÍNDICE (Continuación)

CAPÍTULO VI (Continuación)

VI.5.5 Mediciones de temperatura con el producto final.....	91
---	----

CAPÍTULO VII

VII CONCLUSIONES, APORTACIONES Y TRABAJOS A FUTURO

VII.1 Conclusiones.....	96
VII.2 Aportaciones.....	97
VII.3 Trabajos a futuro.....	97

CAPÍTULO VIII

VIII BIBLIOGRAFÍA

VIII.1 Bibliografía.....	99
--------------------------	----

GLOSARIO.....	101
----------------------	------------

IX APÉNDICE

A Selección de temperatura máxima y mínima.....	102
B Selección para control manual o automático.....	103

ÍNDICE (Continuación)

IX APÉNDICE (Continuación)

C	Inicialización del sistema.....	104
D	Periodo de muestreo de 1 minuto.....	104
E	Periodo de muestreo de 30 minutos.....	105
F	Periodo de muestreo de 60 minutos.....	105
G	Controlando temperatura máxima y mínima.....	106
H	Sin acción en control de temperatura.....	106
I	Control manual para encender calentón.....	107
J	Control manual para apagar calentón.....	107
K	Sin acción en control manual.....	108
L	Subir cortina izquierda.....	108
M	Bajar cortina izquierda.....	109
N	Subir cortina derecha.....	109
O	Bajar cortina derecha.....	110
P	Subir ambas cortinas.....	110
Q	Bajar ambas cortinas.....	111
R	Abrir archivo.....	111
S	Error en rango de temperatura.....	112
T	Error de conexión.....	112

LISTA DE FIGURAS

Figura	Nombre de la figura	Página
1	Esquema general del sistema de supervisión de temperatura en un invernadero.....	3
2	Vista superior del invernadero.....	4
3	Esquema de la cabina de monitorización del invernadero.....	5
4	Imagen de invernadero.....	10
5	Invernadero tipo parral o plano.....	12
6	Invernadero tipo raspa y amagado.....	13
7	Invernadero tipo asimétrico.....	14
8	Invernadero tipo capilla.....	15
9	Invernadero tipo doble capilla.....	16
10	Invernadero tipo túnel o semicilíndrico.....	17
11	Invernadero de cristal o tipo Venlo.....	18
12	Aspecto físico del CI transmisor.....	21
13	Aspecto físico del CI receptor.....	22
14	Aspecto físico de la antena.....	23
15	Aspecto físico del CI MAX232.....	24
16	Aspecto físico del CI 74LS245.....	25
17	Formato para la transmisión de datos.....	25
18	Conectores DB9 hembra y macho.....	27
19	Conectores DB25 hembra y macho	29
20	Diagrama eléctrico de conexión del circuito transmisor.....	30
21	Datos digitales a transmitir (1KHz cuadrada).....	31
22	Espectro de la señal portadora (CF=921.37 MHz).....	32
23	Espectro de la señal portadora modulada con información digital binaria (1KHz cuadrada).....	32

LISTA DE FIGURAS (Continuación)

Figura	Nombre de la figura	Página
24	Diagrama eléctrico de conexión del circuito receptor.....	33
25	Datos digitales recibidos (1KHz cuadrada).....	34
26	Diagrama eléctrico del circuito transceiver.....	35
27	Transmisión y recepción de datos digitales (500 Hz).....	36
28	Diagrama final del circuito transceiver.....	37
29	Computadora en modo transmisor.....	38
30	Computadora en modo receptor.....	39
31	Modelo de referencia de Interconexión de Sistemas Abiertos.....	41
32	Formato del protocolo propietario.....	41
33	Interfaz gráfica principal del programa.....	47
34	Menú inicializar.....	48
35	Procesando datos recibidos.....	49
36	Temperatura excediendo el valor máximo.....	50
37	Temperatura actual menor al mínimo establecido.....	51
38	Error de conexión.....	52
39	Error en rango de temperatura.....	52
40	Comportamiento del invernadero en °C (grados centígrados).....	53
41	Gráfica re-inicializada.....	54
42	Opciones para el control manual.....	56

LISTA DE FIGURAS (Continuación)

Figura	Nombre de la figura	Página
43	Inicio del control manual.....	57
44	Inicio del ascenso de la cortina izquierda.....	58
45	Inicio del descenso de la cortina izquierda.....	59
46	Ascenso de la cortina derecha.....	60
47	Descenso de la cortina derecha.....	61
48	Inicio del ascenso de la cortina izquierda y derecha.....	62
49	Inicio del descenso de la cortina izquierda y derecha.....	63
50	Encendiendo calentón.....	64
51	Apagando calentón.....	65
52	Menú archivo.....	66
53	Circuito transmisor en PCB.....	67
54	Tarjeta de componentes del circuito transmisor.....	68
55	Tarjeta de pistas del circuito transmisor.....	68
56	Circuito receptor en PCB.....	69
57	Tarjeta de componentes del circuito receptor.....	70
58	Tarjeta de pistas del circuito receptor.....	70
59	Circuito transmisor y receptor en PCB.....	71
60	Tarjeta de componentes del circuito transmisor y receptor.....	72

LISTA DE FIGURAS (Continuación)

Figura	Nombre de la figura	Página
61	Líneas de interconexión entre los componentes del circuito transmisor y receptor.....	72
62	Diagrama del Transceiver final.....	74
63	Vista superior del circuito transceiver.....	75
64	Vista inferior del circuito transceiver.....	76
65	Vista frontal del producto final (Transceiver).....	77
66	Vista posterior del producto final.....	78
67	Diagrama a bloques para mediciones (Tx).....	78
68	Diagrama a bloques del Banco de mediciones del Transmisor.....	79
69	Diagrama a bloques para mediciones (Rx).....	79
70	Diagrama a bloques del Banco de mediciones del Receptor.....	80
71	Mediciones realizadas en banda base (100Hz).....	87
72	Comportamiento del transmisor y receptor a frecuencias > 500 Hz.	88
73	Analizador de espectros sin señal portadora de RF.....	89
74	Espectro de la señal portadora (CF=921.37 MHz), Canal 7.....	90
75	Espectro de la señal con información (1KHz cuadrada).....	90
76	Datos de temperatura mostrados en la tabla 12.....	92
77	Datos de temperatura obtenidos en un día cálido.....	93

LISTA DE FIGURAS (Continuación)

78	Datos de temperatura obtenidos en un clima frio.....	94
79	Datos de temperatura obtenidos en 24 horas.....	95

LISTA DE TABLAS

Tabla	Nombre de la Tabla	Página
1	Selección de canales en modo paralelo del transmisor y receptor.....	21
2	Pines del conector DB9 del puerto serie.....	26
3	Pines del conector DB25 del puerto paralelo.....	28
4	Protocolo propietario para la transferencia de información de la computadora hacia el microcontrolador.....	42
5	Protocolo propietario para la transferencia de información del microcontrolador hacia la computadora.....	42
6	Comandos enviados por la computadora.....	43
7	Comportamiento del transmisor y receptor a frecuencias menores a 4 KHz.....	81
8	Comportamiento del transmisor y receptor a frecuencias superiores a 4 KHz.....	82
9	Consumo de corriente del transmisor y receptor.....	83
10	Consumo de corriente en modo ahorro de energía.....	84
11	Desfasamiento entre el transmisor y receptor.....	85
12	Datos almacenados en la computadora.....	91

CAPÍTULO I.

I.- INTRODUCCIÓN.

Las nuevas metodologías de organización del trabajo agropecuario, la innovación tecnológica y la incorporación de otras formas de producción exigen una mayor profesionalización de la actividad productiva ya sea en el manejo de la tecnología como en la comercialización de los productos.¹

A su vez, la demanda es cada vez más exigente en calidad y variedad de productos frescos, generando cambios en los sistemas de empaque, comercialización y distribución, para satisfacer las expectativas del consumidor moderno.

En este marco, el perfil ocupacional del sector agropecuario debe contemplar un dominio de conocimientos técnicos y sociales complejos que involucren el conocimiento práctico y la reflexión sistemática acerca de los procesos productivos.

La horticultura en nuestro país es una actividad de gran importancia económica y social. Utiliza un porcentaje bajo de la superficie agrícola, pero tiene una mayor producción del Producto Interno Bruto (PIB) Agrícola Nacional. Esta actividad, en los últimos años, se ha caracterizado por un aumento en los rendimientos de los cultivos, debido al aporte de las innovaciones tecnológicas logradas en el ámbito de materiales genéticos, nutrición, riego, etc.

La superficie bajo invernadero muestra un continuo crecimiento desde que el desarrollo de la horticultura intensiva, alcanzó vigor en los años setenta. Durante los últimos años ha incrementado su ritmo de crecimiento debido fundamentalmente a razones de mercado, aunque puede haber influido también la escasez de agua de riego, que obliga a concentrar este recurso en los usos de máxima generación de valor.

¹ www.fao.org/DOCREP/005/S86305/s8630s02.htm#TopOfPage

Desde el punto de vista de la economía del agua, los invernaderos y también otras técnicas de protección de cultivos muy habituales en la región reducen las pérdidas por evaporación, aunque la intensidad de sus cultivos hace que las demandas hídricas por superficie no necesariamente resulten muy bajas.

I.1 Planteamiento del problema.

Se visitaron varios invernaderos en la localidad de San Quintín, poblado ubicado a 180 Km al sur de Ensenada, B. C., México para atender la problemática y necesidades reales de los invernaderos de ese lugar, por lo que ingenieros responsables de los mismos plantearon la idea de que el parámetro más crítico de medir y controlar es la temperatura bajo el esquema a bloques mostrado en la figura 1.

Cuando la temperatura dentro del invernadero es muy fría, es decir, si se encuentra por debajo de un parámetro mínimo pre-establecido, el responsable en turno acciona los 4 motores para cerrar las cortinas y enciende el calentón, para lograr incrementar la temperatura en el invernadero. Por otro parte, cuando la temperatura en el invernadero excede el límite superior pre-establecido para el cultivo, la persona encargada del invernadero enciende los 4 motores para abrir las cortinas de tal forma que se ventile el invernadero, además apaga el calentón utilizado, el cual es a base de diesel.

El problema detectado es que el control de temperatura del invernadero, se lleva a cabo de una forma manual por una persona. Esto propicia que se puedan presentar errores de tipo humano, además de requerir 3 turnos de trabajo para el personal, por lo que se genera un gasto fijo de nómina en una actividad que puede realizarse de manera más eficiente mediante un sistema automatizado.

En la figura 2, se presenta una vista superior del invernadero, en él se aprecia la ubicación de los 4 motores de C.A. (Corriente Alterna), el calentón y las cortinas.

La infraestructura actual del invernadero cuenta con una cabina de monitoreo ubicada a 200 m del cultivo. En la figura 3 se muestra el equipo que será desarrollado e integrado durante este trabajo de tesis para ser instalado en una cabina de monitoreo.

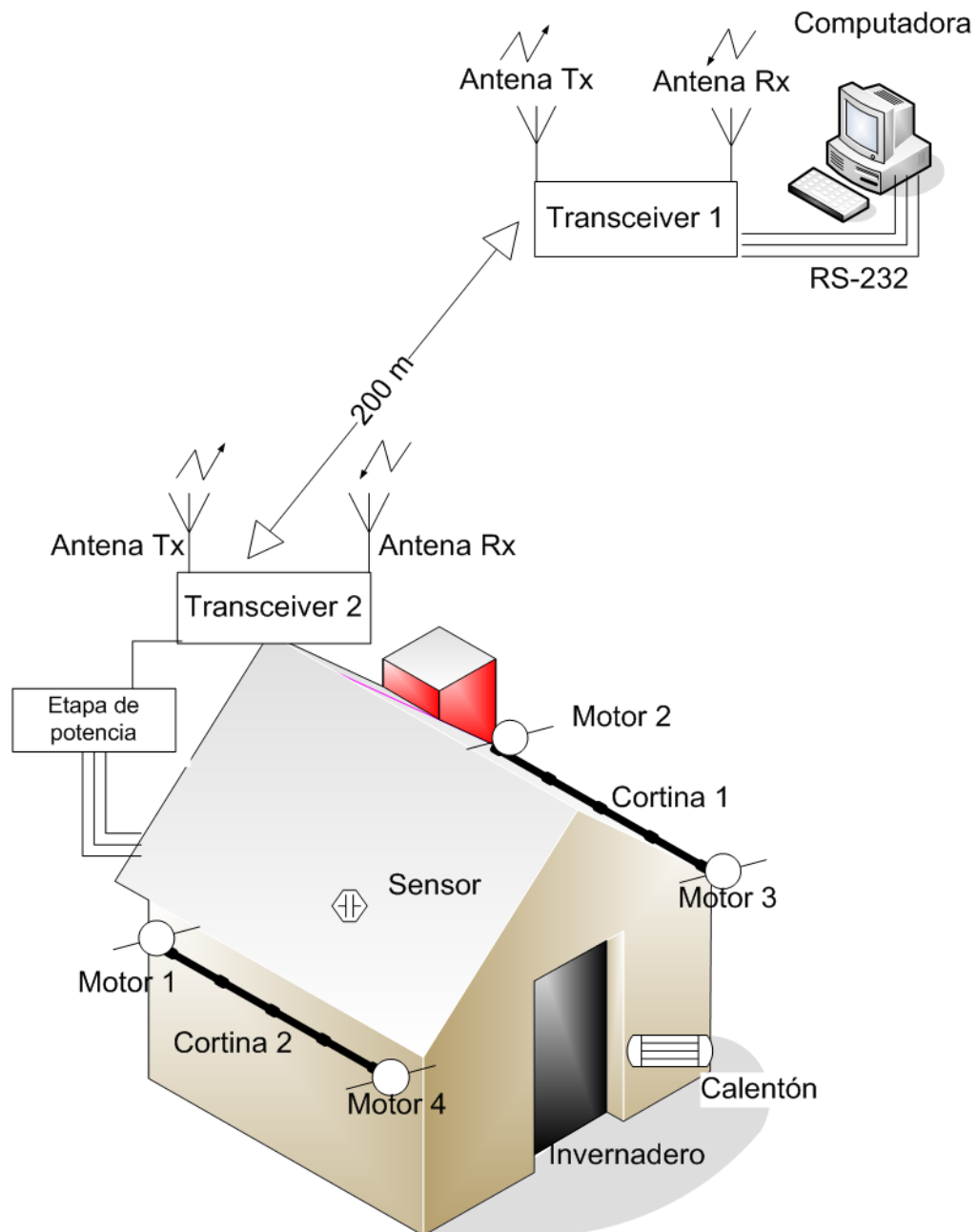


Figura 1. Esquema general del sistema de supervisión de temperatura en un invernadero.

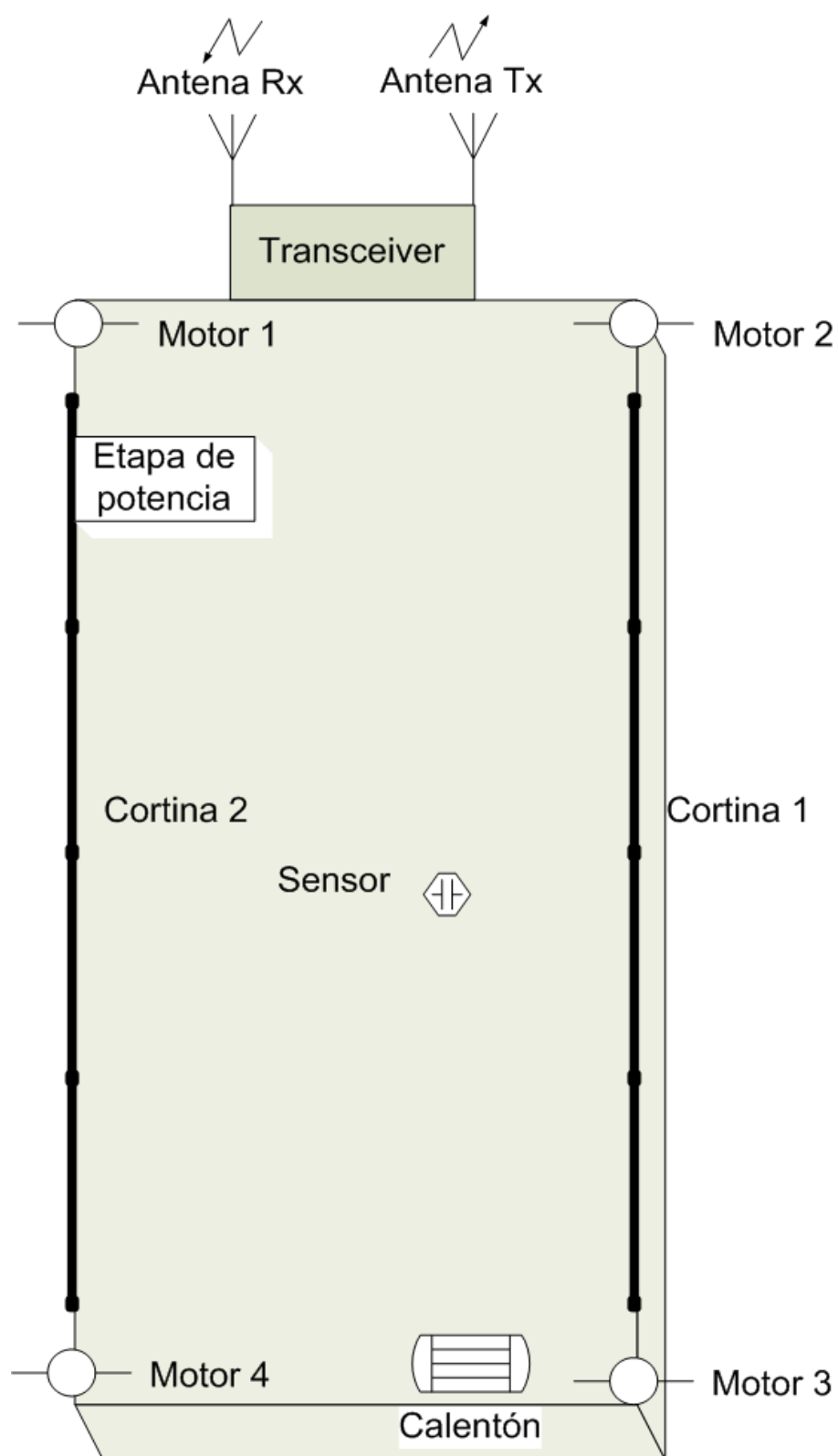


Figura 2. Vista superior del invernadero.

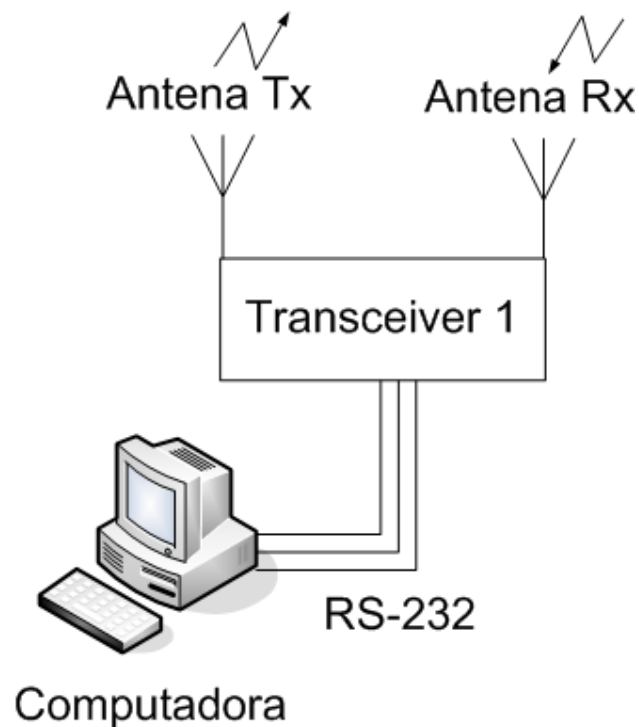


Figura 3. Esquema de la cabina de monitorización del invernadero.

I.2 Motivación del trabajo.

Debido al gran avance tecnológico que han tenido y están teniendo las comunicaciones y a la disminución de los costes en los componentes electrónicos, es posible desarrollar instrumentos para la supervisión ó automatización de distintos procesos.

El implementar un software que trabaje con un módulo de comunicación inalámbrica para la supervisión de un parámetro importante como lo es la temperatura, motiva a uno como estudiante a desarrollar la habilidad y capacidad para programar y diseñar circuitos que resuelvan una problemática real que nuestra sociedad lo está demandando, todo esto considerando que sea un sistema de bajo costo.

Al realizar lo anterior, se puede mejorar la productividad de ciertos procesos y se hace una aportación en el desarrollo tecnológico del país, propiciando que sea más independiente en cuanto al uso de tecnología se refiere.

I.3 Objetivo General.

Se diseñará e implementará un sistema de monitoreo de temperatura para mantener un microclima adecuado en los cultivos de un invernadero de producción agrícola.

I.4 Objetivos Específicos

Con el fin de lograr el objetivo general, se desprenden los siguientes objetivos específicos:

1. Se diseñará e implementará un circuito transceiver para establecer la comunicación inalámbrica por un canal de RF (Radio Frecuencia) de 900 MHz (Mega Hertz) entre el invernadero (microcontrolador) y una computadora a una distancia de 200 m.
2. Se diseñará un protocolo propietario básico para la transferencia de datos entre la computadora y el microcontrolador, la comunicación se efectuará en ambos sentidos.
3. Se desarrollará un software con visualización gráfica y control de temperatura, que sea fácil de utilizar, amigable para el usuario y tenga la capacidad de almacenar datos.
4. El sistema deberá ser de bajo costo.

I.5 Organización del trabajo.

El presente trabajo con el título **“Sistema de supervisión de temperatura de un invernadero mediante una comunicación inalámbrica”** está organizado de la siguiente manera:

Capítulo I.

En el capítulo I se presenta la problemática planteada y las necesidades reales de los invernaderos, así como la motivación que llevó a realizar este proyecto, también presenta el objetivo general así como los objetivos específicos.

Capítulo II.

En el capítulo II se muestra una descripción sobre las características de los invernaderos, describe las ventajas y desventajas que presenta su implementación. Los invernaderos que se detallan son: tipo plano ó parral, raspa ó amagado, asimétricos, de capilla, doble capilla, túnel ó semicilíndrico y cristal o venlo.

Capítulo III.

El capítulo III presenta el diseño y construcción del hardware, en el cual se detalla la selección de los componentes utilizados; el transmisor, el receptor, las antenas, el CI (Circuito Integrado) MAX232, el CI 74LS245, el puerto serie y puerto paralelo, así como el diseño, fabricación y evaluación de los circuitos: transmisor, receptor, prototipo transceiver y el producto final.

Capítulo IV.

En el capítulo IV se explica el desarrollo del protocolo propietario, así como el modelo de referencia utilizado para efectuar la comunicación entre el transceiver de la computadora y el transceiver ubicado dentro del invernadero. Se describen los comandos y el código de verificación empleados.

Capítulo V.

El capítulo V contiene el desarrollo del software para el monitoreo de la temperatura dentro del invernadero, en él se presenta la descripción del programa; la interfaz gráfica principal, el menú inicializar, el graficado de la temperatura, el control manual y el menú archivo.

Capítulo VI.

En el capítulo VI se presentan los resultados que se obtuvieron para llevar a cabo los circuitos en tarjeta impresa, así como las mediciones efectuadas en banda base, en RF, de consumo de corriente y el desfaseamiento entre la señal transmitida y la señal recibida.

Capítulo VII.

El capítulo VII muestra las conclusiones obtenidas al realizar este proyecto, las aportaciones y trabajos a futuro.

Capítulo VIII.

El capítulo VIII contiene la bibliografía utilizada para la realización de este proyecto de tesis.

Capítulo IX.

El capítulo IX muestra el apéndice, en él se presenta el código programado en Labview para este sistema de supervisión de temperatura.

CAPÍTULO II.

II.- CARACTERÍSTICAS DE LOS INVERNADEROS.

Un invernadero es toda aquella estructura cerrada cubierta por materiales transparentes, dentro de la cual es posible obtener unas condiciones artificiales de microclima, y con ello cultivar plantas fuera de estación en condiciones óptimas.²

Por otra parte, los sistemas de automatización previstos en los diferentes invernaderos permitirán incrementar esta proporción de forma importante, ya que actualmente muchos agricultores no pueden emplear estas técnicas.

Controlando el clima dentro de los invernaderos, podemos crear y mantener las condiciones óptimas para el crecimiento de las plantas y poder cultivar en cualquier época del año con las condiciones climáticas óptimas. El exceso de calor y una humedad inadecuada puede ocasionar numerosos problemas: crecimiento estancado, hojas quemadas, productos dañados, etc. Es decir, si la humedad relativa es demasiado baja, el resultado es una excesiva transpiración y sequedad en el producto y si la humedad es demasiado alta, provocará la aparición de hongos y bacterias.

La imagen de un invernadero se puede observar en la figura 4.

Las ventajas del empleo de invernaderos son:

- Aumento de la calidad y del rendimiento.
- Producción fuera de época.
- Ahorro de agua y fertilizantes.
- Mejora del control de insectos y enfermedades.
- Posibilidad de obtener más de un ciclo de cultivo al año.

² www.fao.org/DOCREP/005/S8630S/s8630s03.htm#TopOfPage

Inconvenientes:

- Alta inversión inicial.
- Alto costo de operación inicial.
- Requiere personal especializado, de experiencia práctica y conocimientos teóricos.



Figura 4. Imagen de invernadero.

Los invernaderos se pueden clasificar de distintas formas, según se atiende a determinadas características de sus elementos constructivos (por su perfil externo, fijación o movilidad, material de cubierta, material de la estructura, etc.).

La elección de un tipo de invernadero está en función de una serie de factores o aspectos técnicos:

- **Tipo de suelo.** Se deben elegir suelos con buen drenaje y de alta calidad aunque con los sistemas modernos de fertirriego es posible utilizar suelos pobres con buen drenaje o sustratos artificiales.
- **Topografía.** Son preferibles lugares con pequeña pendiente orientados de norte a sur.
- **Vientos.** Se tomarán en cuenta la dirección, intensidad y velocidad de los vientos dominantes.
- Exigencias bioclimáticas de la especie en cultivo.
- Características climáticas de la zona o del área geográfica donde vaya a construirse el invernadero.
- Disponibilidad de mano de obra (factor humano).
- Imperativos económicos locales (mercado y comercialización).

Según la conformación estructural, los invernaderos se pueden clasificar en:

- Planos o tipo parral.
- Tipo raspa y amagado.
- Asimétricos.
- Capilla (a un agua o a dos aguas).
- Doble capilla.
- Tipo túnel o semicilíndrico.
- De cristal o tipo Venlo.

II.1 Invernaderos planos o tipo parral.

Este tipo de invernadero se utiliza en zonas poco lluviosas, aunque no es aconsejable su construcción, debido a que tiene más desventajas que ventajas. La estructura de estos invernaderos se encuentra constituida por dos partes claramente diferenciadas, una estructura vertical y otra horizontal. Su estructura es básica debido a que está hecha de postes de madera apoyados verticalmente en cimientos de cemento individual y unidos unos a otros por medio de alambres de tensión que corren a lo largo de su parte superior. Tanto los apoyos exteriores como interiores pueden ser postes de pino o eucalipto y tubos de acero galvanizado.³

Las ventajas para la implementación de este tipo de invernaderos; es de construcción económica, gran adaptabilidad a la geometría del terreno, una gran uniformidad luminosa. Y las desventajas; poca circulación de aire, mala ventilación, rápido envejecimiento de la instalación, difícil mecanización y dificultad en las labores de cultivo por el excesivo número de postes. El invernadero tipo parral se puede observar en la figura 5.



Figura 5. Invernadero tipo parral o plano.

³ www.abcagro.com/industria_auxiliar/tipo_invernaderos2

II.2 Invernaderos tipo raspa y amagado.

Los invernaderos de raspa y amagado, surgen a partir de los invernaderos planos o tipo parral, ante la necesidad de poder evacuar el agua de lluvia, ya que en los planos con las precipitaciones se forman grandes bolsas de agua, que perjudican seriamente la estructura.⁴

Los invernaderos de tipo raspa y amagado se distinguen por estar sujetos por tubos galvanizados y alambres o trenzas de hilos de alambres. La parte más baja se conoce como “amagado”, se une a la estructura mediante horquillas de hierro, donde van las canales que evacuan el agua de lluvia, y se une al suelo mediante tensores. El invernadero tipo raspa se puede observar en la figura 6.



Figura 6. Invernadero tipo raspa y amagado.

⁴ www.infoagro.com/industria_auxiliar/invernaderos_raspa_amagado

II.3 Invernaderos asimétricos.

La principal característica de este tipo de invernadero es, que su construcción está orientada a seguir la trayectoria del sol, con el objetivo de aumentar su capacidad de captación de la radiación solar, para realizar esta labor la cara expuesta al sur es de mayor tamaño, esto se logra orientando al invernadero en sentido este-oeste, paralelo al recorrido aparente del sol.⁵

Las razones por las cuales son implementados estos tipos de invernadero son por su buen aprovechamiento de la luz en la época invernal, su economía y buena ventilación. La figura 7 muestra un invernadero tipo asimétrico.



Figura 7. Invernadero tipo asimétrico.

II.4 Invernaderos de capilla (a una o dos aguas).

Los invernaderos de capilla simple tienen el techo formando uno o dos planos inclinados, según sea a un agua o a dos aguas. Posee grandes ventajas para su

⁵ www.abcagro.com/industria_auxiliar/tipo_invernaderos3

implementación; es de fácil construcción y de fácil conservación, facilidad para permitir la colocación de distintos tipos de plástico en la cubierta, la ventilación vertical en paredes es muy fácil y se puede hacer de grandes superficies, con una mecanización sencilla, grandes facilidades para evacuar el agua de lluvia y permite la unión de varios invernaderos en formación tipo batería. En la figura 8 se puede observar este tipo de invernadero.⁶



Figura 8. Invernadero tipo capilla.

II.5 Invernaderos a doble capilla.

Los invernaderos de doble capilla están formados por la unión de dos invernaderos tipo capilla. Su ventilación es mejor que en otros tipos de invernadero, debido a la ventilación cenital que tienen en unión de los dos invernaderos; estas aberturas de ventilación suelen permanecer abiertas constantemente y suele ponerse en

⁶ www.infoagro.com/industria_auxiliar/tipo_invernaderos2

ellas malla mosquitera. Además también poseen ventilación vertical en las paredes frontales y laterales.⁷

En este tipo de invernadero su uso no es muy extendido debido a que es de difícil construcción y el costo es elevado. La figura 9 representa un invernadero tipo doble capilla.



Figura 9. Invernadero tipo doble capilla.

II.6 Invernaderos tipo túnel o semicilíndrico.

Los invernaderos de este tipo se caracterizan por la forma de su cubierta y por su estructura totalmente metálica. El empleo de este tipo de invernadero se está extendiendo por su mayor capacidad para el control de los factores climáticos, su gran resistencia a fuertes vientos y su rapidez de instalación al ser estructuras prefabricadas.

Posee grandes ventajas; estructuras de fácil construcción ya que no cuentan con obstáculos, cuentan con una buena circulación de aire para la instalación de ventilación cenital a sotavento, facilita la labor para instalar algún tipo de automatización en los mecanismos para abrir y cerrar las cortinas, buena distribución de la luminosidad en el

⁷ www.abcgro.com/industria_auxiliar/tipo_invernaderos4

interior y es de fácil instalación. El principal inconveniente es su elevado costo. Un ejemplo de un invernadero túnel o asimétrico se puede observar en la figura 10.⁸



Figura 10. Invernadero tipo túnel o semicilíndrico.

II.7 Invernaderos de cristal o tipo Venlo.

Este tipo de invernaderos, también llamado Venlo, es de estructura metálica prefabricada con cubierta de vidrio y se emplean generalmente en el Norte de Europa. El techo de este invernadero industrial está formado por paneles de vidrio que descansan sobre los canales de circulación de agua proveniente de las lluvias y sobre un conjunto de barras transversales. Debido al uso de vidrio posee una excelente climatización pero su principal inconveniente es una menor transmisión de luz debido a la abundancia de elementos estructurales, lo cual es reflejado en un alto costo. Un ejemplo de este tipo de invernadero se puede observar en la figura 11.⁹

⁸ www.infoagro.com/industria_auxiliar/tipo_invernaderos2

⁹ www.infoagro.com/industria_auxiliar/tipo_invernaderos2



Figura 11. Invernadero de cristal o tipo Venlo.

CAPÍTULO III.

III.- DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL HARDWARE

En este capítulo se presenta la metodología utilizada para el diseño y construcción del hardware; iniciando con la selección de los componentes, el material utilizado, la interconexión de los componentes a utilizar, la información respecto al funcionamiento de cada componente, la evaluación de los prototipos y la fabricación del producto final.

III.1 Selección de los componentes.

El desarrollo del sistema involucró la utilización de ciertos elementos indispensables, debido a que el producto final controla a un microclima en un invernadero. Uno de estos elementos es una computadora, las señales generadas por los sensores dentro del invernadero deben ser procesadas por un microcontrolador, y posteriormente enviadas a la computadora por un canal de RF de 900 MHz.

Los componentes que a continuación serán mencionados se eligieron debido a numerosos factores; que permiten un control total del sistema por parte del diseñador, no requieren de excedentes en componentes externos, son económicos, tienen bajo consumo de energía, la facilidad de ser adquiridos y son robustos.

III.1.1 Transmisor y Receptor de RF.

Para lograr una sesión de comunicación se requiere: un transmisor, un medio y un receptor.

Para el control de temperatura en un invernadero se utilizaron receptores y transmisores de la compañía Linkx, debido a la facilidad de manejo de los componentes y que no requieren dispositivos externos. Son componentes robustos y permiten ser controlados por el usuario.

El transmisor TXM-900-HP3-PPS y el receptor RXM-900-HP3-PPS, son los componentes utilizados con encapsulados tipo SIP (Single In line Package); estos dispositivos manejan una modulación por FSK (Frequency-shift keying), ocho canales para transmisión en modo paralelo aplicando en los pines CHS0, CHS1 y CHS2 niveles lógicos TTL (Transistor - Transistor Logic) y las frecuencias que se pueden seleccionar son; 903.37, 906.37, 907.87, 909.37, 912.37, 915.37, 919.387 y 921.37 MHz, cuentan con modo de bajo consumo de energía al aplicarle un “0” lógico en el pin PDN (Power Down), no requieren de componentes externos para su funcionamiento, poseen un rango de alimentación comprendido entre los 2.8 a los 13 volts en DC (Direct Current), transfieren información hasta 56 Kbps (kilo bits por segundo), la conexión para enviar y recibir datos es directa, es decir, para enviar información, los datos se aplican por el pin DATA del transmisor y para obtener los datos, es a través del pin DATA del receptor y debido a que se van a encontrar procesando información dentro de un invernadero, son ideales ya que manejan temperaturas en el rango de -30°C a 85°C. El transmisor posee una potencia de 3 dBm y el receptor tiene una sensibilidad de -100 dBm. En la figura 12 se muestra el aspecto físico del CI transmisor y el pin out, mientras la figura 13 muestra el CI receptor con su respectivo pin out.

En la tabla 1 se muestra el funcionamiento del CI transmisor y receptor.

**Tabla 1. Selección de canales en modo paralelo
del transmisor y receptor.**

CHS2	CHS1	CHS0	Canal	Frecuencia
0	0	0	0	903.37
0	0	1	1	906.37
0	1	0	2	907.87
0	1	1	3	909.37
1	0	0	4	912.37
1	0	1	5	915.37
1	1	0	6	919.87
1	1	1	7	921.37

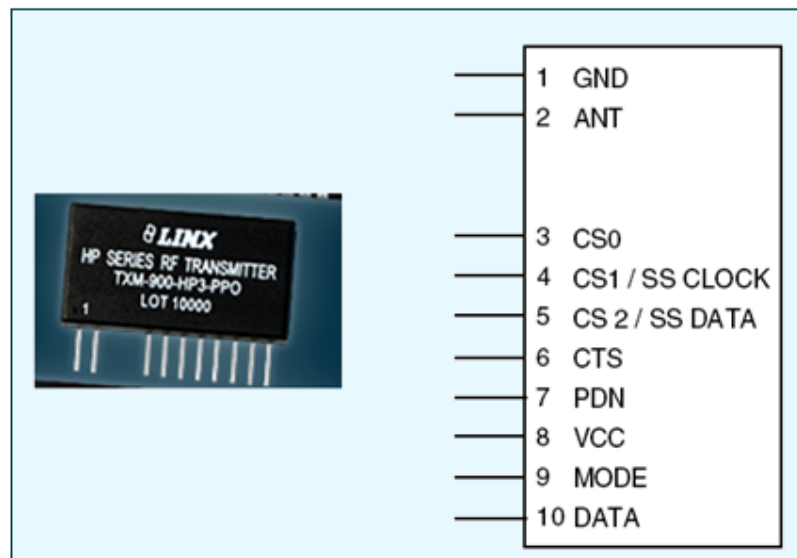


Figura 12. Aspecto físico y pin out del CI transmisor.

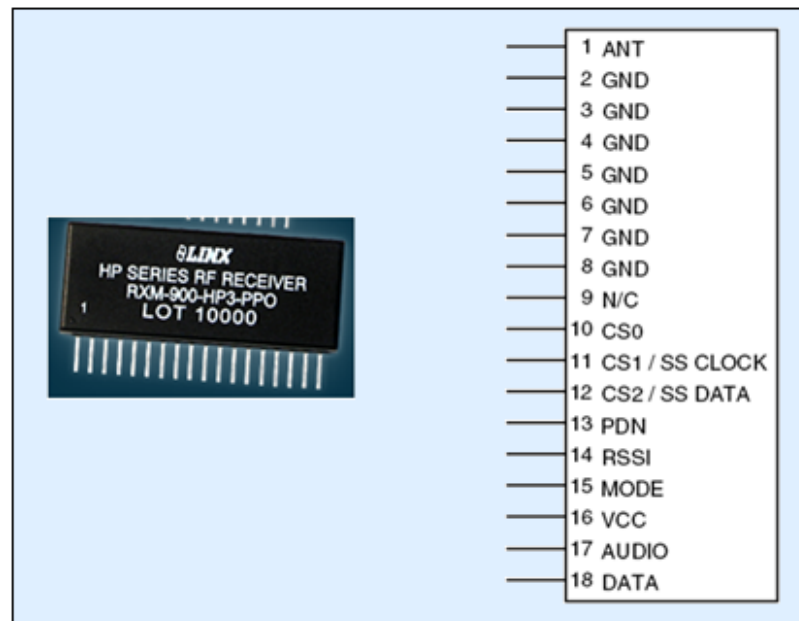


Figura 13. Aspecto físico y pin out del CI receptor.

III.1.2 Antena.

La misión de una antena es radiar la potencia de la señal RF que se le suministra con las características de direccionalidad adecuada a la aplicación [Cardama, 2004].

Para este proyecto se seleccionó la antena modelo ANT-916-CW-QW es el modelo de antena utilizado para enviar y recibir la información tanto del transmisor como receptor respectivamente, fue elegida debido a que cuenta con un excelente acoplamiento con estos dispositivos. Posee una frecuencia central a 916 MHz, 100 MHz de ancho de banda, una impedancia para acoplamiento de 50Ω , no requiere de componentes externos para su funcionamiento, cuenta con radiación omnidireccional y es impermeable. Esto la hace ideal para utilizarse en ambientes de invernaderos. La figura 14 ilustra el aspecto físico de la antena seleccionada.

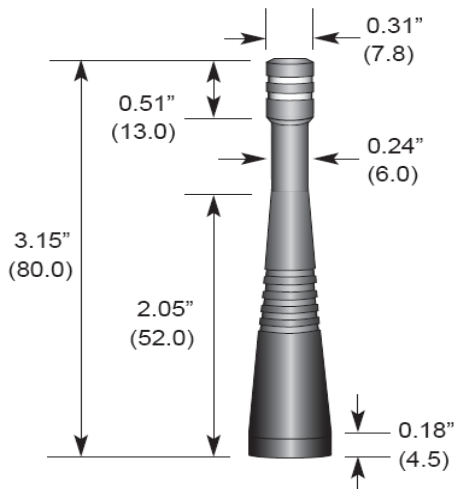


Figura 14. Aspecto físico de la antena.

III.1.3 Interfaz MAX232

La información detectada por los circuitos transmisor y receptor tiene que ser procesada por una computadora, por lo que se requiere un acoplamiento en los niveles de voltaje, ya que tanto el transmisor como el receptor manejan niveles TTL y la computadora por el puerto serie maneja niveles de RS-232 (Electronic Industries Alliance) +/- 12 volts, se integró el dispositivo MAX232 para mantener dichos niveles de voltaje. Este componente posee características muy importantes; Manejo de niveles TTL y RS-232, contiene 2 canales de entrada/salida, voltaje de operación a 5 volts, encapsulado DIP (Dual In line Package). En la figura 15 se muestra el pin out de este integrado, así como su aspecto físico.

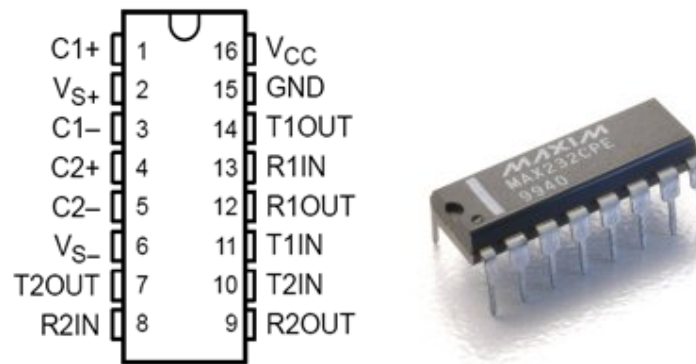


Figura 15. Aspecto físico del CI MAX232.

III.1.6 Circuito Integrado 74LS245

Este componente electrónico se incluyó en el desarrollo de este proyecto debido a las características que posee para proteger a la tarjeta madre de la computadora, además de que sus líneas de datos son asignadas para la selección de los canales de transmisión y recepción así como mantener en estado de bajo consumo tanto al transmisor como al receptor, la asignación de los niveles de voltaje en los pines de control se realizaron de la siguiente manera; al pin OE se le aplicó un nivel “0” lógico, mientras al pin DIR se le aplicó un nivel “1” lógico, la finalidad de asignar estos niveles a estos pines es lograr la escritura del puerto paralelo de la computadora al circuito de transmisión/recepción de datos. Las características de este dispositivo; maneja niveles TTL, posee 8 canales de entrada/salida, bus bidireccional, con un voltaje de operación a 5 volts y cuenta con bajo consumo de energía. La figura 16 presenta el aspecto físico y el pin out del circuito integrado 74LS245.

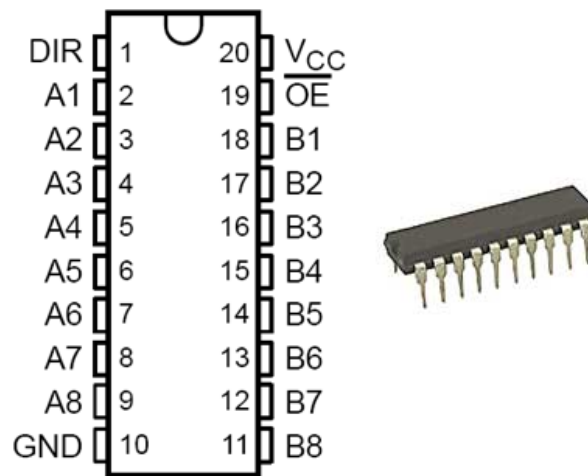


Figura 16. Aspecto físico del CI 74LS245.

III.1.7 Puerto Serie.

Una manera de conectar a dos dispositivos es mediante comunicación serie asíncrona. En ellas los bits de datos se transmiten "en serie" (uno detrás de otro) y cada dispositivo tiene su propio reloj. Previamente se ha acordado que ambos dispositivos transmitirán datos a la misma velocidad, del mismo tamaño, etc.

Los datos serie en comunicación asíncrona se encuentran encapsulados en tramas mostradas en la figura 17.



Figura 17. Formato para la transmisión de datos.

Primero se envía un bit de inicio, a continuación los bits de datos (primero el bit de mayor peso) y finalmente el bit de PARO.

El número de bits de datos y de bits de paro, son parámetros configurables, así como el criterio de paridad par o impar para la detección de errores. Normalmente, las

comunicaciones serie tienen los siguientes parámetros: 1 bit de Inicio, 8 bits de Datos, 1 bit de paro y sin paridad.

En una computadora puede haber varios puertos series, a los que normalmente se les denomina COM1, COM2, COM3, etc. El puerto serie trabaja entre +/- 12 volts, de manera que un cero lógico es cuando la terminal se encuentra entre +9 y +12 volts, y un uno lógico cuando se encuentra entre -9 y -12 volts de manera que un puerto serie que no está transmitiendo, mantiene la terminal de transmisión en un 1 lógico es decir entre -9 y -12 volts. El conector del puerto serie de la computadora cuenta con 9 pines, la descripción de cada pin se puede observar en la tabla 2.

El software, para procesar la información proveniente del sensor requiere la introducción de datos, el puerto serie es el encargado de proporcionar esa información, así como el encargado de enviar la información a ejecutar por el módulo ubicado en el invernadero una vez que el software ha evaluado los datos.

Tabla 2. Pines del conector DB9 del puerto serie.

No. de pin	Nombre del pin	Descripción
1	DCD	Data carrier detected
2	RxD	Received Data
3	TxD	Transmitted Data
4	DTR	Data Terminal Ready
5	GND	Common Ground
6	DSR	Data Sheet Ready
7	RTS	Request To Send
8	CTS	Clear To Send
9	RI	Ring Indicator

Para la transferencia de información, frecuentemente realizada entre una computadora y un periférico se realiza a velocidades comprendidas entre los; 110, 300,

1200, 2400, 4800, 9600, 19200, 38400, 57600, 115200, 230400, 460800, 921600 bps (bits por segundo).

Los conectores DB9 se pueden observar en la figura 18.

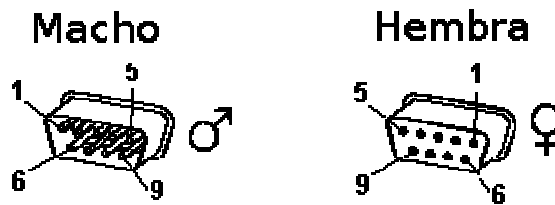


Figura 18. Conectores DB9 macho y hembra.

III.1.8 Puerto Paralelo.

El puerto paralelo es una interfaz entre una computadora y un periférico, cuya principal característica es que los bits de datos viajan juntos enviando un byte completo (D0 - D7) a la vez, además de ser bidireccional. Se ha utilizado principalmente para conectar impresoras, pero también ha sido usado para programadores EPROM (Erasable Programmable Read Only Memory), escáneres, etc.

Las líneas de comunicación cuentan con un retenedor que mantiene el último valor que les fue escrito hasta que recibe un nuevo dato, las características eléctricas son; cuando se tiene un nivel “1” lógico en cada bit de dato, mantiene un nivel de voltaje de 3.3 volts a 5 volts, mientras cuando se tiene un “0” lógico mantiene un nivel de voltaje igual a 0 volts.

El sistema operativo gestiona las interfaces de puerto paralelo con los nombres LPT1 (Line Print Terminal 1), LPT2 y así sucesivamente, para procesar datos por medio de estos puertos se les asigna direcciones; por ejemplo para el puerto LPT1 se le asigna la dirección 378H, este valor es en código hexadecimal. El conector del puerto paralelo de la computadora cuenta con 25 pines, la descripción de cada pin se puede observar en la tabla 3.

Tabla 3. Pines del conector DB25 del puerto paralelo.

No. de pin	Nombre del pin	Descripción
1	Strobe	Habilitación para datos.
2	Data0	Bit 0 de datos.
3	Data1	Bit 1 de datos.
4	Data2	Bit 2 de datos.
5	Data3	Bit 3 de datos.
6	Data4	Bit 4 de datos.
7	Data5	Bit 5 de datos.
8	Data6	Bit 6 de datos.
9	Data7	Bit 7 de datos.
10	Ack	Bandera para recepción de datos.
11	Busy	Bandera para indicar el estado de la impresora.
12	Paper-Out	Bit que indica la ausencia de papel en la impresora.
13	Select	Bit para indicar la impresora seleccionada.
14	Linefeed	Alimentación de línea.
15	Error	Bandera para indicar error.
16	Initialize	Reinicio de la impresora.
17	Select-Printer	Selección de impresora.
18 - 25	Ground	Nivel de tierra.

Los conectores del puerto paralelo se pueden observar en la figura 21.

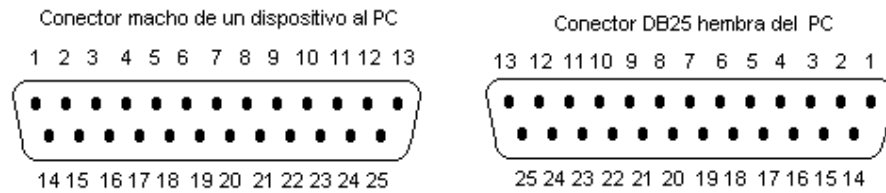


Figura 19. Conectores DB25 macho y hembra.

El puerto paralelo es utilizado para seleccionar el canal de transmisión/recepción de datos y para activar/desactivar el transmisor y receptor. Los bits D1, D2 del puerto paralelo son utilizados para controlar los pines CHS0 y CHS1 en el transmisor y receptor y así de esta forma se obtenía un control de los canales, mientras el D0 se utiliza para mantener a estos componentes en modo bajo consumo de energía, controlando el pin PDN del transmisor y receptor.

III.2 Diseño y fabricación del prototipo.

Una vez seleccionados los componentes, se evaluó cada uno por separado para observar que funcionaran adecuadamente, posteriormente se interconectaron todos en conjunto y se probó el prototipo. El procedimiento a seguir para realizar cada uno de los prototipos fue el siguiente:

- 1) Diseño y elaboración del diagrama de conexión eléctrico.
- 2) Diseño del diagrama PCB (Printed Circuit Board) tarjeta de circuito impreso mediante el diagrama de conexión eléctrico.
- 3) Fabricación del circuito PCB sobre una tarjeta para impresos.
- 4) Colocación de cada uno de los componentes en la tarjeta impresa.

III.2.1 Diseño, fabricación y evaluación del transmisor.

Como se mencionó anteriormente cada componente fue evaluado por separado. Debido a que son datos que se transmiten por el espacio libre a una frecuencia de 900 MHz, y para evitar los problemas producidos por un protoboard, fué necesario realizar el prototipo en tarjeta impresa tomando como referencia el diagrama de conexión proporcionado por el fabricante de cada circuito integrado, el cual se puede observar en la figura 20.

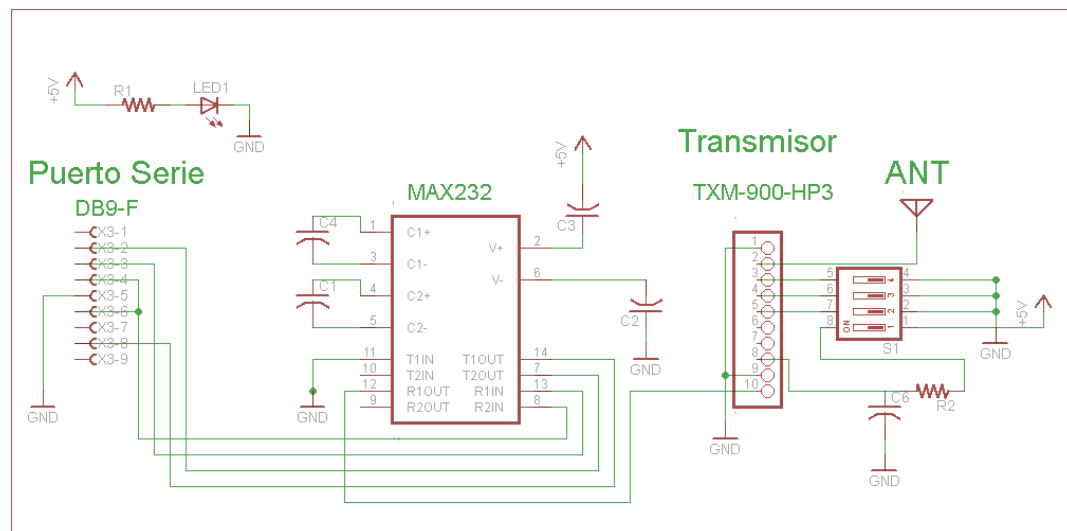


Figura 20. Diagrama eléctrico de conexión del circuito transmisor.

La evaluación del circuito transmisor se realizó de la siguiente forma:

- Por medio del dip switch se selecciona el canal 0 para transmitir la información digital, la frecuencia seleccionada es 903.37 MHz. CHS0, CHS1 y CHS2 se les aplicó niveles “0” lógicos.
- Se introducen los datos en el pin TX del puerto serie de la tarjeta, los datos binarios son producidos por un generador de funciones.
- Se convierten los niveles de voltaje entre el generador y el circuito transmisor mediante el circuito integrado MAX232.

- Se aplican los datos en el pin 10 (Data) del circuito transmisor TXM-900-HP3, estos datos enviados están en niveles TTL, y el circuito transmisor utiliza modulación FSK para la portadora de RF de 900 MHz.
- Se irradia la información hacia el espacio libre por medio de la antena.

Los puntos descritos anteriormente se comprueban experimentalmente con un analizador de espectros y un osciloscopio. En el analizador de espectros se observa la señal portadora una vez que el circuito transmisor se encuentra encendido, así como también la señal portadora modulada en FSK con la información proveniente del generador de funciones. En el osciloscopio se visualiza el comportamiento de la señal introducida desde el generador de funciones en niveles RS-232.

En la figura 21 se puede observar la onda binaria a transmitir, la cual es una señal cuadrada de 1 KHz (Kilo Hertz).

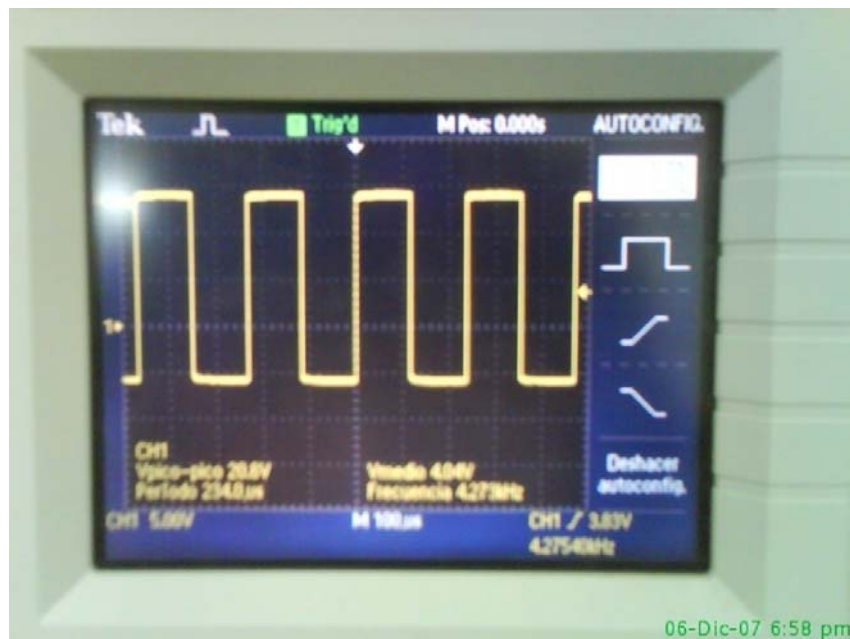


Figura 21. Datos digitales a transmitir (1KHz cuadrada).

La figura 22 muestra el comportamiento de la señal portadora al encender el circuito transmisor.

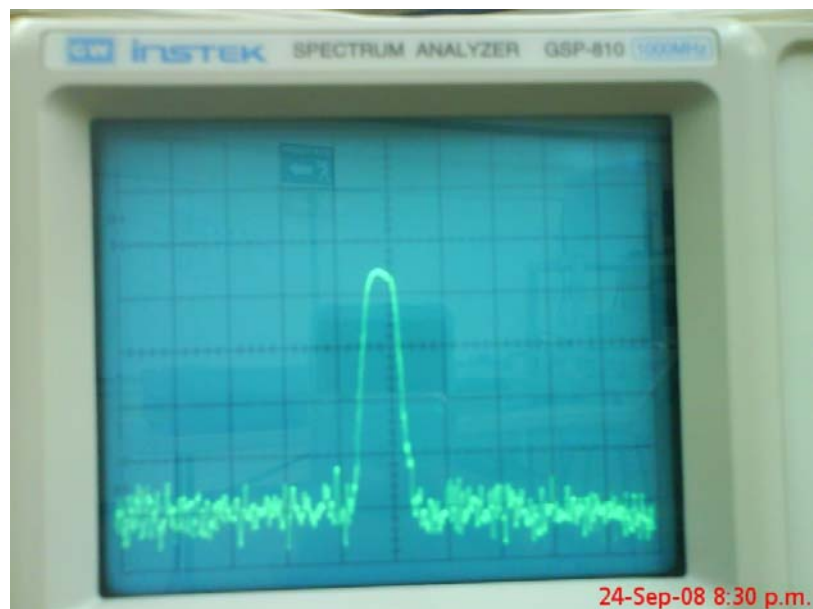


Figura 22. Espectro de la señal portadora (CF=921.37 MHz).

Una vez ingresado los datos binarios en el transmisor, se observa el comportamiento de la señal modulada con esta información digital en el analizador de espectros, el cual se puede observar en la figura 23.

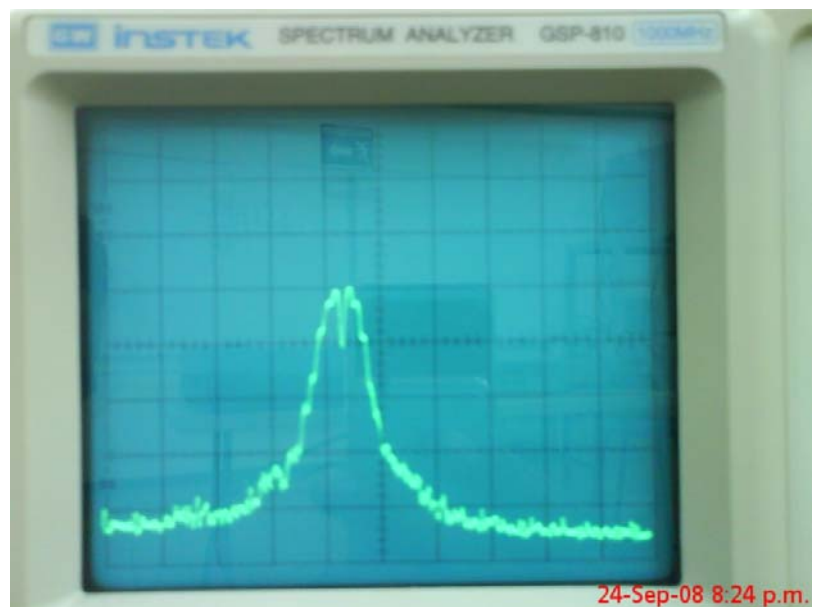


Figura 23. Espectro de la señal portadora modulada con información digital binaria (1KHz cuadrada).

III.2.2 Diseño, fabricación y evaluación del receptor.

Como ya se mencionó anteriormente, las razones para llevar a cabo estos diseños en tarjetas impresas, se utilizó el mismo procedimiento para evaluar el diagrama de conexión proporcionado por el fabricante del circuito receptor. Este diagrama de conexión se puede observar en la figura 24.

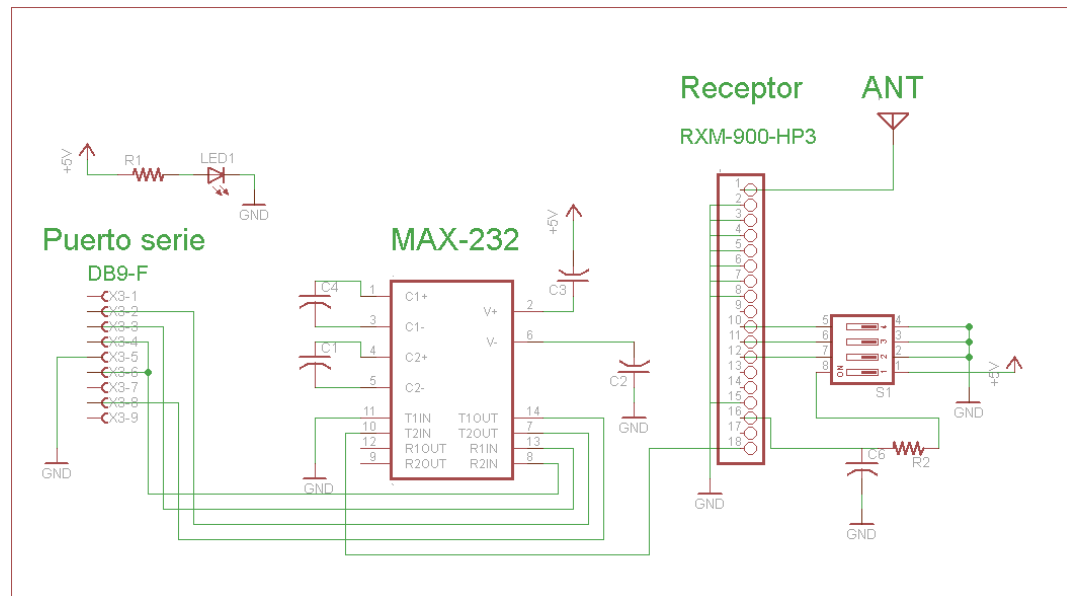


Figura 24. Diagrama eléctrico de conexión del circuito receptor.

La evaluación del circuito receptor se realizó de la siguiente manera:

- Se selecciona el canal para recibir la información proveniente del transmisor por medio del dip switch, la frecuencia seleccionada es a 903.37 MHz, que corresponde al canal 0. CHS0, CHS1 y CHS2 se les aplicó niveles "0" lógicos.
- Se recibe la señal RF proveniente del transmisor mediante la antena.
- Los datos se recuperan con demodulación FSK con el receptor RXM-900-HP3.
- Estos datos TTL recuperados se cambian de nivel de voltaje utilizando el circuito integrado MAX232.
- Los datos RS-232 obtenidos se aplican al pin RX del puerto serie de la computadora.

Al igual que en la evaluación del circuito transmisor, los puntos descritos se comprueban experimentalmente con un analizador de espectros y un osciloscopio. En el analizador de espectros se observa la señal portadora una vez que el circuito se encuentra encendido, así como también la señal portadora con la información proveniente del generador de funciones modulada en FSK. El osciloscopio muestra la señal recibida, esto se aprecia en la figura 25.

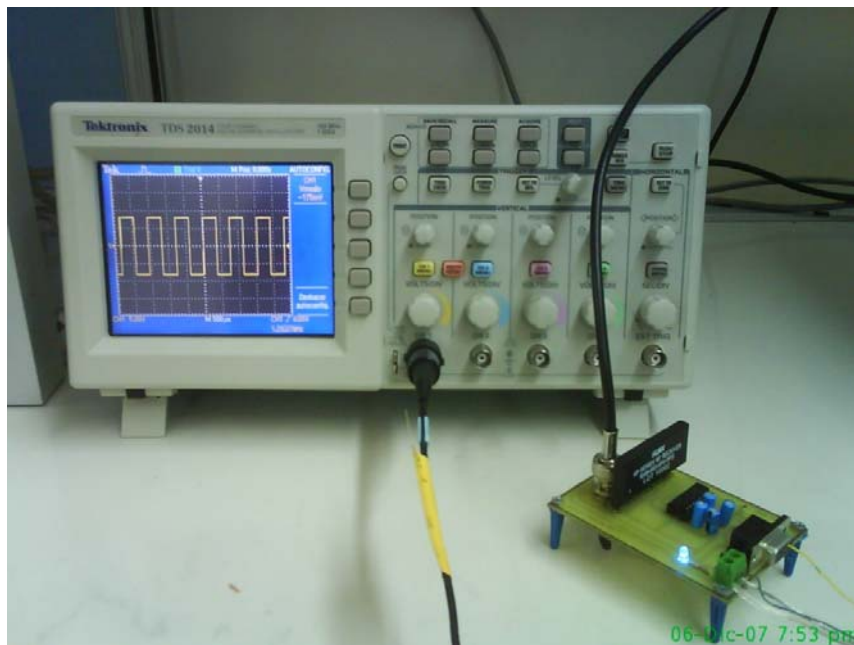


Figura 25. Datos digitales recibidos (1KHz cuadrada).

III.2.3 Diseño, fabricación y evaluación del circuito transceiver.

Una vez evaluado por separado cada uno de los circuitos (transmisor y receptor) se procede a realizar un diseño en conjunto, el cual cuenta con el circuito transmisor y receptor con sus respectivas antenas, y la interfaz para la comunicación entre la computadora y el transceiver. Aplicando el mismo procedimiento que en los circuitos anteriores. El resultado de este diagrama de conexión se puede observar en la figura 26.

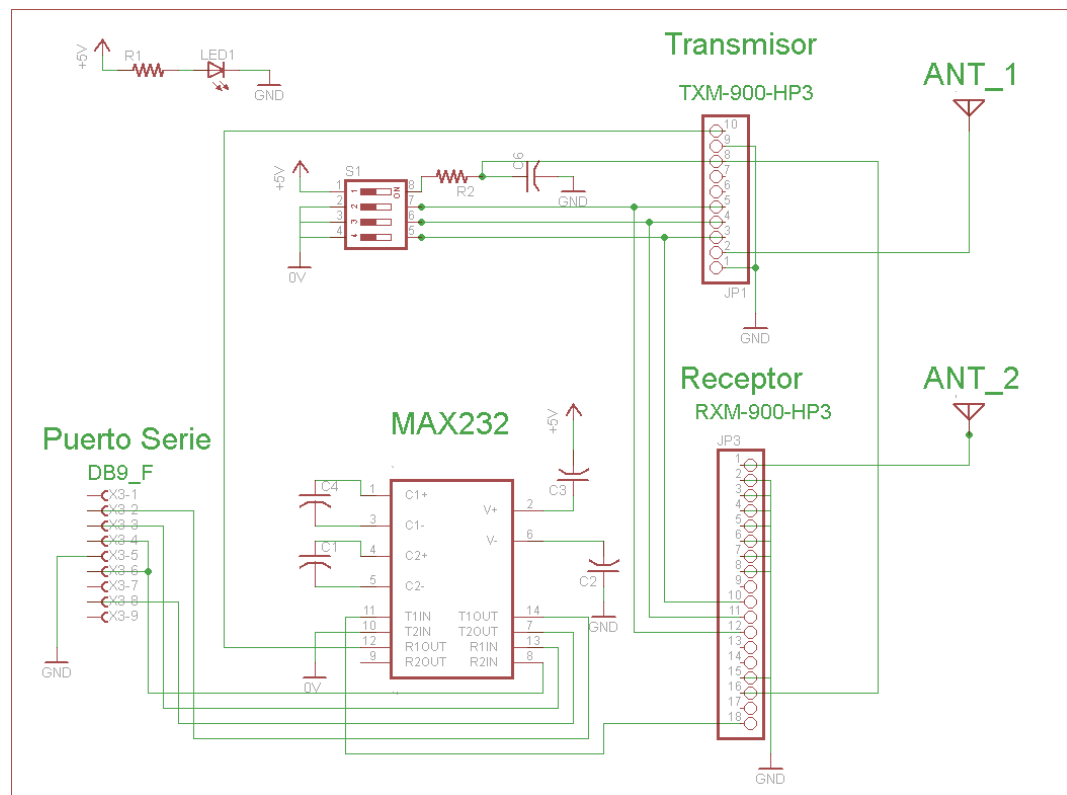


Figura 26. Diagrama eléctrico del circuito transceiver.

Para comprobar el funcionamiento del circuito transceiver se realizan los siguientes pasos:

- Por medio del dip switch se selecciona el canal para enviar/recibir la información proveniente del transmisor/receptor, la frecuencia seleccionada es a 903.37 MHz, la cual es el canal 0.
- Se aplican datos binarios proporcionados por un generador de funciones en niveles TTL para ser introducidos en el pin TX del circuito y son enviados.
- Se convierten los niveles de voltaje entre el circuito transmisor y el puerto serie, con el circuito integrado MAX232.
- El circuito integrado TXM-900-HP3-PPS aplica modulación FSK a la portadora de RF 903.37 MHz para enviar los datos binarios.
- Se irradia la señal RF modulada hacia el espacio libre por medio de la antena.

- Se recibe la señal RF 903.37 MHz por medio de la antena hacia el circuito receptor RXM-900-HP3.
- Se demodula en FSK la portadora de RF proveniente desde el transmisor a través del circuito RXM-900-HP3.
- Se convierten los niveles de voltaje entre el circuito receptor y los niveles RS-232 de la computadora con el circuito integrado MAX232.
- Se reciben los datos digitales por el pin RX del puerto serie de la computadora.

Al igual que en la evaluación de los circuitos transmisor y receptor, funcionalmente el circuito transceiver se comprueba experimentalmente utilizando un analizador de espectros y un osciloscopio. En el analizador de espectros se observa la señal portadora una vez que el sistema se encontraba encendido, así como la señal portadora con la información proveniente del generador de funciones modulada en FSK. El osciloscopio muestra la señal enviada y recibida. En la figura 27 se muestran los datos digitales enviados y recibidos, la señal amarilla describe a los datos digitales transmitidos, mientras la señal en color azul indica los datos recibidos.

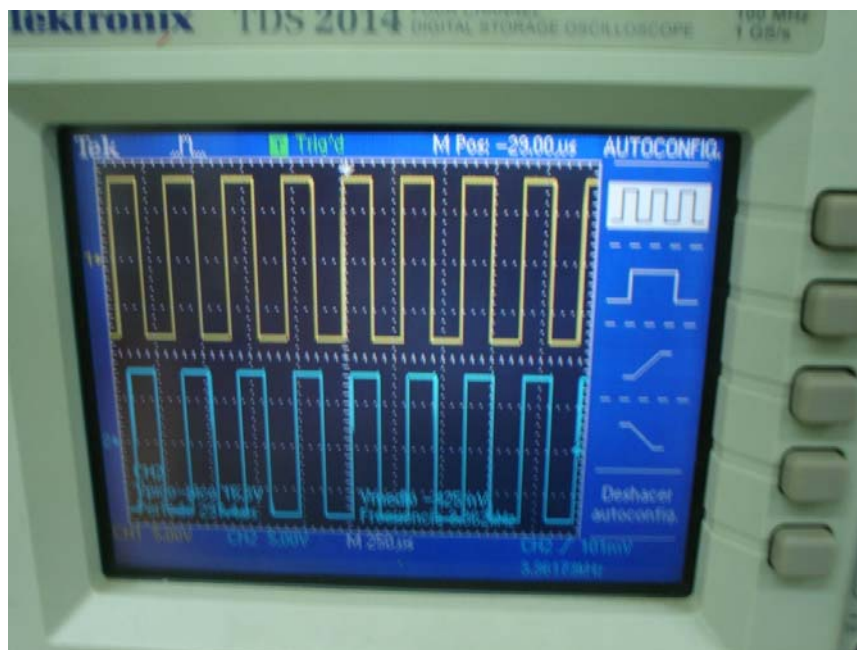


Figura 27. Transmisión y recepción de datos digitales (500 Hz).

III.2.4 Prototipo final

En los prototipos antes descritos sus canales para la transmisión de información de datos CHS0, CHS1, CHS2 y para mantener al circuito en modo ahorro de energía aún son seleccionados manualmente mediante un dispositivo, por lo que se incorpora el puerto paralelo para realizar esta función mediante los bits D0, D1, D2 y para proteger a la tarjeta madre de la computadora se agrega el circuito integrado 74LS245. En la figura 28 se puede observar el diagrama de conexión del prototipo final.

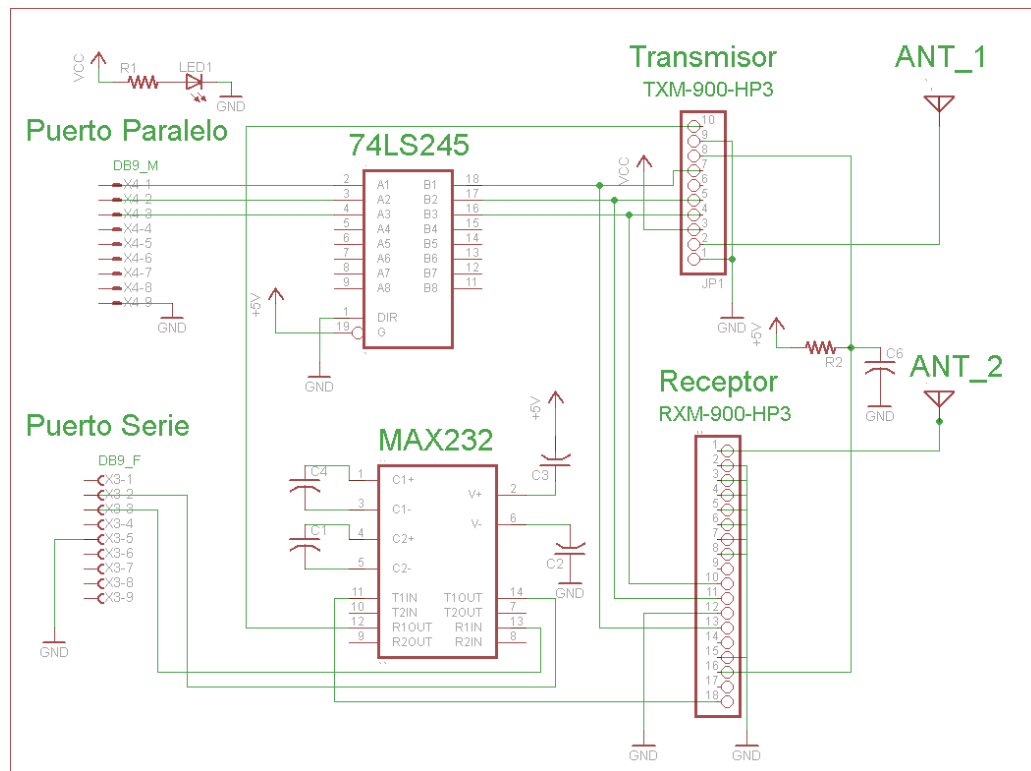


Figura 28. Diagrama final del circuito transceiver.

Para evaluar el circuito transceiver final, se utiliza una computadora y un microcontrolador, en la cual cada uno de ellos actúa en un tiempo como transmisor y en otro como receptor de datos, se realizaron pruebas en los ocho canales; 903.37, 906.37, 907.87, 909.37, 912.37, 915.37, 919.387 y 921.37 MHz. La frecuencia para la transmisión de datos es a 912.37 MHz de la computadora al microcontrolador y para la

transmisión del microcontrolador a la computadora es a 907.87 MHz. Para enviar datos se hace lo siguiente:

- Seleccionar el canal 4 mediante la utilización del puerto paralelo, la cual se encuentra en la frecuencia de 912.37 MHz. En CHS0 y CHS1 se aplican niveles “0” lógicos, mientras CHS2 se aplica un nivel “1” lógico.
- Se transmiten datos por el puerto serie mediante el pin TX. Los datos enviados son caracteres ASCII (American Standard Code for Information Interchange).
- Convertir los niveles de voltaje entre el puerto serie (RS-232) y el circuito transmisor (TTL) mediante el circuito integrado MAX232.
- Aplicar los datos al circuito transmisor TXM-900-HP3 por el pin DATA, estos datos enviados están en niveles TTL y se utiliza modulación FSK para modular la portadora RF de 912.37 MHz.
- Se irradia la información hacia el espacio libre por medio de la antena ANT-916-CW-GW.

La computadora en modo transmisor/receptor se puede observar en la figura 29.

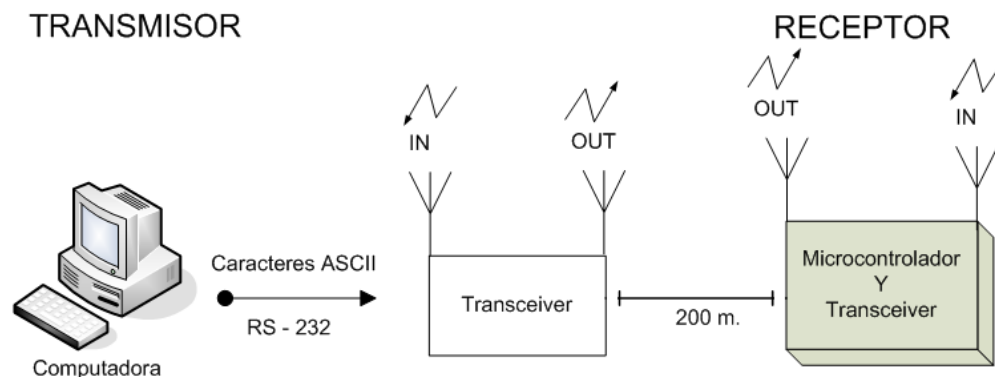


Figura 29. Computadora en modo transmisor.

La recepción de datos provenientes desde el circuito remoto que monitorea la temperatura es de la siguiente forma:

- Se selecciona el canal para recibir la información proveniente del transmisor (microcontrolador) por medio del puerto paralelo, la frecuencia seleccionada para la recepción es a 907.87 MHz. En CHS0 y CHS2 se les aplica niveles “0” lógicos, mientras a CHS1 se le aplica un nivel “1” lógico.
- Se recibe la señal de RF proveniente del circuito transmisor del microcontrolador para ser introducidos al circuito receptor de la PC.
- Se demodula la señal con la técnica FSK para recuperar los datos mediante el circuito receptor RXM-900-HP3.
- Se convierten los niveles de voltaje entre el circuito receptor y el puerto serie RS-232 de la computadora a través del circuito integrado MAX232.
- Se reciben los datos en el pin RX del puerto serie de la PC.
- Se procesan estos datos con el software.

La figura 30 muestra a la computadora en modo receptor.

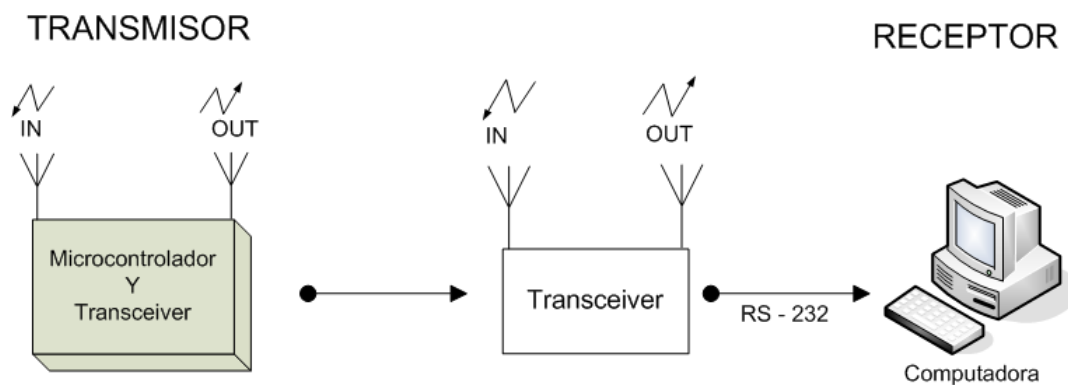


Figura 30. Computadora en modo receptor.

CAPÍTULO IV.

IV.- DESARROLLO DEL PROTOCOLO PROPIETARIO.

Para lograr una comunicación exitosa mediante datos digitales es necesario establecer ciertas pautas entre el emisor y receptor. Es decir, deben acordarse reglas y procedimientos específicos en los extremos de transmisión y recepción del sistema de comunicaciones. Estas reglas y procedimientos se llaman protocolos [Frenzel, 2003].

IV.1 Modelo de referencia OSI (Open Systems Interconnection)

El modelo de referencia de interconexión de sistemas abiertos (OSI) describe como viaja la información entre dos aplicaciones que se encuentran en computadoras conectadas por una red. El modelo de referencia OSI divide el problema de llevar la información entre dos aplicaciones conectadas a través de la red mediante una división en niveles. A cada uno de estos niveles se le asigna una tarea concreta y suficientemente autocontenida, de manera que se pueda realizar independientemente de las tareas de los niveles superiores e inferiores. El modelo OSI consta de siete niveles: aplicación, presentación, sesión, transporte, red, enlace y físico. En la figura 31 se puede observar una representación de esta estructura en niveles [Sánchez y López, 2001].



Figura 31. Modelo de referencia de Interconexión de Sistemas Abiertos.

IV.2 Protocolo propietario.

El formato del protocolo a seguir se muestra en la figura 32. Éste protocolo se basó en el modelo OSI considerando las diferentes capas que componen a dicho sistema.

Identificador del microcontrolador	Comandos/Datos	Código de Verificación
------------------------------------	----------------	------------------------

Figura 32. Formato del protocolo propietario.

Es un protocolo propietario que nos brinda el control total del sistema, sencillo pero muy eficaz, nos permite realizar el intercambio de información de la computadora al microcontrolador y viceversa. La tabla 4 muestra el protocolo para enviar información de la computadora hacia el circuito transceiver del invernadero, mientras la

tabla 5 muestra el protocolo utilizado para la recepción de los datos a procesar proveniente del circuito transceiver ubicado dentro del invernadero.

Tabla 4. Protocolo propietario para la transferencia de información de la computadora hacia el microcontrolador.

Identificador del microcontrolador	Comandos	Código de Verificación
16 bits	24 bits	8 bits

Tabla 5. Protocolo propietario para la transferencia de información del microcontrolador hacia la computadora.

Identificador del microcontrolador	Datos	Código de Verificación
16 bits	16 bits	8 bits

A continuación se detalla cada uno de los bloques que transmite/recibe la computadora para procesar datos:

IV.2.1 Identificador del microcontrolador.

En modo transmisor envía la siguiente información; “MX”, estos datos son en caracteres ASCII, y constan de 16 bits, los cuales indican que desea mantener comunicación con un transceiver ubicado dentro del invernadero. Los primeros 8 bits establecen la comunicación con un microcontrolador “M”, mientras los 8 bits de “X” restantes indican con cual transceiver desea establecer comunicación.

En modo receptor, obtiene la siguiente información; “MX”, que al igual que en modo transmisor consta de 16 bits, los primeros 8 bits indican que se trata de el envío de datos por parte de un microcontrolador “M”, mientras los 8 bits restantes identifican al transceiver que le envía los datos para ser procesados.

IV.2.2 Comandos

Consta de 24 bits, cuando la computadora transmite información lo realiza enviando 3 caracteres ASCII “XXX”. Los comandos a ejecutar por parte del transceiver ubicado dentro del invernadero son enlistados en la tabla 6.

Tabla 6. Comandos enviados por la computadora.

Comando (Caracteres ASCII)	Acción a ejecutar
INI	Inicializar el sistema.
TEM	Solicitud de envío de temperatura.
CEN	Encender calentón.
CAP	Apagar calentón.
SCI	Subir cortina izquierda.
SCD	Subir cortina derecha.
BCI	Bajar cortina izquierda.
BCD	Bajar cortina derecha.
SCT	Subir ambas cortinas.
BCT	Bajar ambas cortinas.
CAS	Control de temperatura máxima.
CAB	Control de temperatura mínima.

IV.2.3 Código de verificación.

Como se mencionó anteriormente, el protocolo está basado en el modelo OSI y para validar la información enviada y recibida fueron agregados 8 bits, y el carácter ASCII que representa esta comprobación es la letra “F”, e indica el final de la cadena enviada o recibida.

El protocolo desarrollado mantiene el intercambio de información entre el transceiver de la computadora y el transceiver ubicado dentro del invernadero utilizando RF como medio de conexión físico, empleando modulación y demodulación FSK a una velocidad de 9600 bps, llevando al usuario a un nivel de aplicación libre de complicaciones.

IV.2.4 Descripción de comandos.

El comando “INI” es el comando principal, ya que establece la comunicación con el transceiver ubicado dentro del invernadero y los comandos “TEM”, “CAB” y “CAS” son los comandos que mantienen el rango de temperatura dentro del invernadero en forma automática, la cadena enviada para la solicitud del valor de la temperatura es “MATEMF”, de acuerdo al dato recibido por la computadora se realiza el control automático, es decir, cuando la temperatura dentro del invernadero supera al valor establecido como temperatura máxima, la computadora envía la orden para que el microcontrolador realice la acción de hacer ascender las cortinas y apagar el calentón, la cadena que envía la computadora es “MACASF”.

Otro caso es cuando la computadora recibe el dato de la temperatura dentro del invernadero y que es inferior al valor establecido como temperatura mínima, entonces la computadora envía la orden para que el microcontrolador haga descender las cortinas y enciende el calentón, la cadena que envía la computadora es “MACABF”.

La finalidad del software desarrollado es dar al usuario el control total sobre el sistema de monitoreo, y lo explicado anteriormente es realizado de manera automática, pero el software es capaz de realizar un control manual y para esto cuenta con los comandos “CEN”, “CAP”, “SCI”, “BCI”, “SCI”, “BCD”, “SCD”, “SCT”, “BCT”.

Los comandos “CEN” y “CAP” son para el control manual del calentón, el comando “CEN” mantiene al calentón ubicado dentro del invernadero en modo encendido mediante la cadena “MACENF”, la otra opción es cuando el transceiver dentro del invernadero recibe el comando “CAP” dentro de la cadena “MACAPF” mantiene al calentón apagado.

Si, el usuario en algún momento desea hacer ascender la cortina izquierda, ya sea por el aumento de temperatura no detectado por el microcontrolador o por causa ajena al sistema de monitorización, el usuario seleccionando esta opción desde el software hace que la computadora envíe la cadena “MASCIF” y el microcontrolador inicie con el proceso para el ascenso de la cortina.

Para hacer descender la cortina derecha o ambas cortinas, el proceso es similar, estas opciones se tienen que seleccionar desde el software y la computadora enviará la cadena correspondiente para realizar estas acciones, es decir, para el control de la cortina derecha el transceiver de la computadora envía la cadena “MABCDF” y para ambas cortinas envía la cadena “MABCTF”.

Así mismo, el usuario cuenta con el control sobre el ascenso de la cortina izquierda, derecha o ambas. El usuario debe seleccionar estas opciones desde el software y la computadora enviará la secuencia correspondiente, para el ascenso de la cortina derecha el transceiver de la computadora envía la cadena “MASCDF”, para la cortina izquierda “MASCIF” y para ambas cortinas “MASCTF”.

De manera similar, se puede encender o apagar manualmente al calentón mediante los comandos “MACENF” y “MACAPF” respectivamente.

CAPÍTULO V.

V.- DESARROLLO DEL SOFTWARE.

Para mantener un microclima óptimo dentro de un invernadero y el usuario cuente con los elementos necesarios para ello, es importante desarrollar un software que permita de una manera sencilla y amigable a los usuarios poder establecer las condiciones adecuadas de operación del invernadero, así mismo poder visualizar y analizar la temperatura en la que se ha encontrado en las ultimas hora y en el momento actual.

El software utilizado para desarrollar el sistema de monitoreo es Labview. Este software debe ser capaz de procesar la información enviada por el microcontrolador ubicado dentro del invernadero.

V.1 Diseño de la interfaz gráfica.

El objetivo es diseñar una buena interfaz gráfica para que permita al usuario una manipulación directa con el sistema, esto se logra optimizando el sistema en los tiempos de respuesta y evitando cualquier complejidad, todo esto se consigue con la participación directa por parte del usuario y procurando una interfaz natural al incorporar figuras y dibujos.

V.2 Descripción del programa.

En el desarrollo del programa prototipo se utilizan colores conservadores, sin olvidar los mensajes de prevención de errores para dar robustez al sistema del usuario.

El programa cuenta con las siguientes opciones:

- Menú principal.
- Menú inicializar.
- Menú de graficado.

- Menú para el control manual.
- Menú archivo.

V.2.1 Interfaz gráfica Principal.

En la figura 33, se puede observar el menú principal del programa, el cual contiene la carta de presentación de lo que es en conjunto el software, los datos contenidos en esta opción son: Logotipos tanto de la Universidad como de la Facultad, Nombre de la universidad, Nombre de la Facultad, El programa de Posgrado, Título del software, así como la hora y fecha.

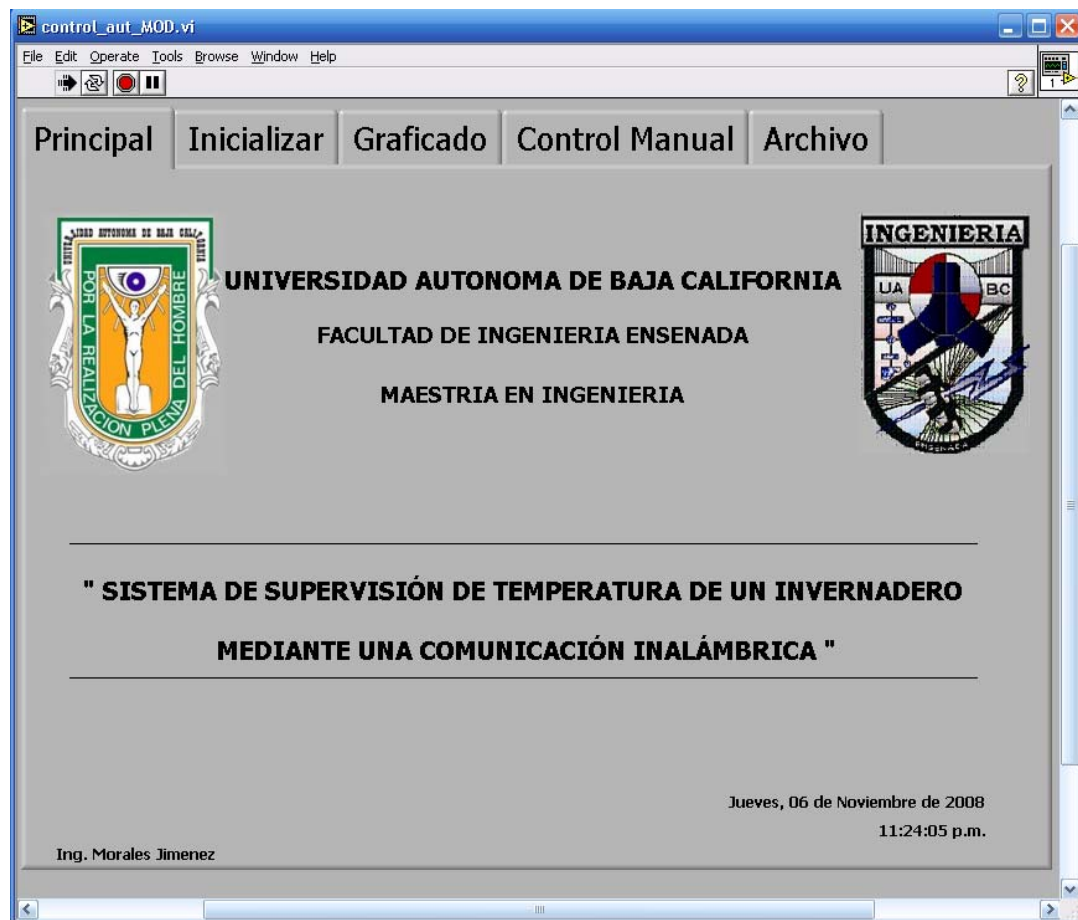


Figura 33. Interfaz gráfica principal del programa.

V.2.2 Menú Inicializar.

En el menú **Inicializar** se ubican las opciones para configurar el inicio del sistema, el usuario introduce el periodo de muestreo de la temperatura y el rango de temperatura a mantener en las opciones: temperatura máxima y temperatura mínima. Ver figura 34.

Una vez que el usuario introduce estos datos, deberá de presionar el botón etiquetado con la opción **“Inicializar”**. Al presionar este botón el programa se comunica con el microcontrolador para establecer la comunicación.

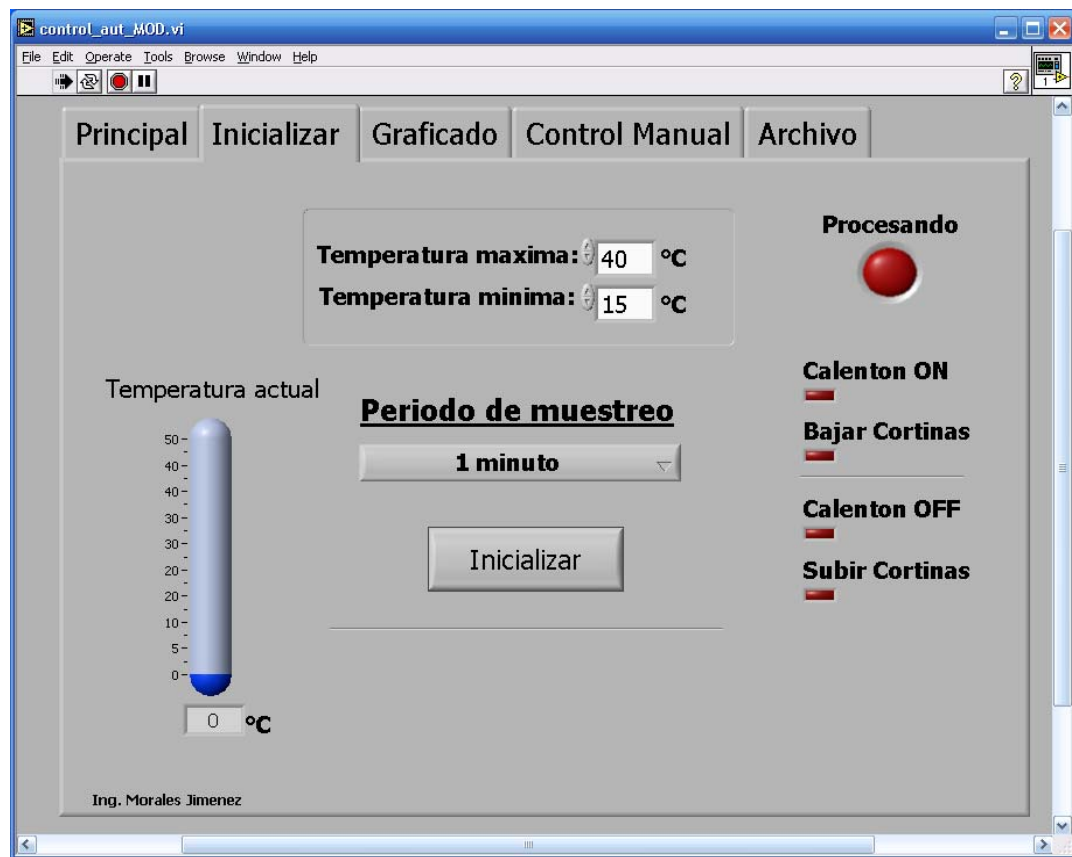


Figura 34. Menú inicializar.

Una vez establecida la comunicación, el programa despliega el botón etiquetado con la opción “Procesar Datos”, este botón inicia con el proceso de monitorización solicitando en ese instante el envío de la última medición de temperatura por parte del microcontrolador e iniciando de forma automática el sistema de monitorización en el periodo indicado, a su vez el programa crea un archivo para guardar cada uno de los datos. Lo descrito anteriormente se puede observar en la figura 35.

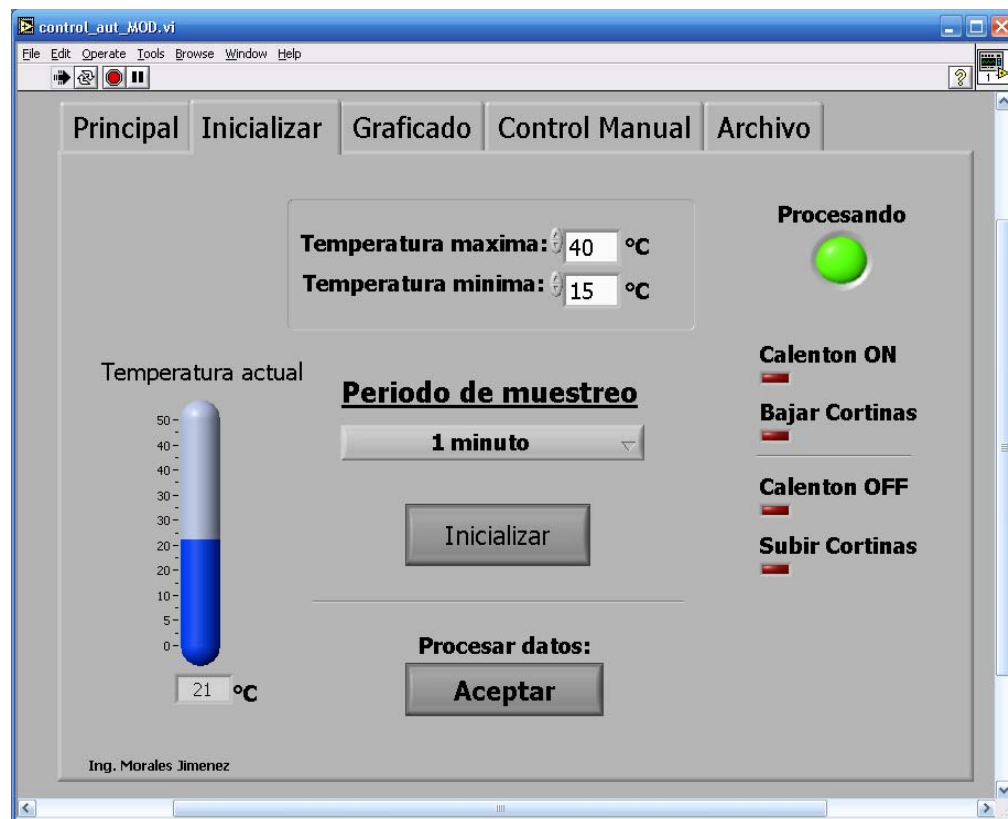


Figura 35. Procesando datos recibidos.

Si, el usuario no introduce datos de temperatura máxima y mínima a mantener el programa cuenta con valores pre-establecidos, las cuales son; para la temperatura máxima: 35°C y para temperatura mínima: 15°C, así como el periodo de muestro, el cual es de 1 minuto. El programa funcionando de forma automática se puede visualizar en la figura 35.

Una vez iniciado el sistema automático, el programa tiene la capacidad de mantener un rango temperatura dentro del invernadero. ¿Cómo logra el software mantener ese rango de temperatura?

El primer caso es, sí, la temperatura dentro del invernadero supera el valor establecido en la temperatura máxima, el programa envía al microcontrolador ubicado dentro del invernadero una orden para que las cortinas suban y el calentón se apague, así mismo, el software enciende los indicadores **Calentón OFF** y **Subir Cortinas**. Esto se puede observar en la figura 36.

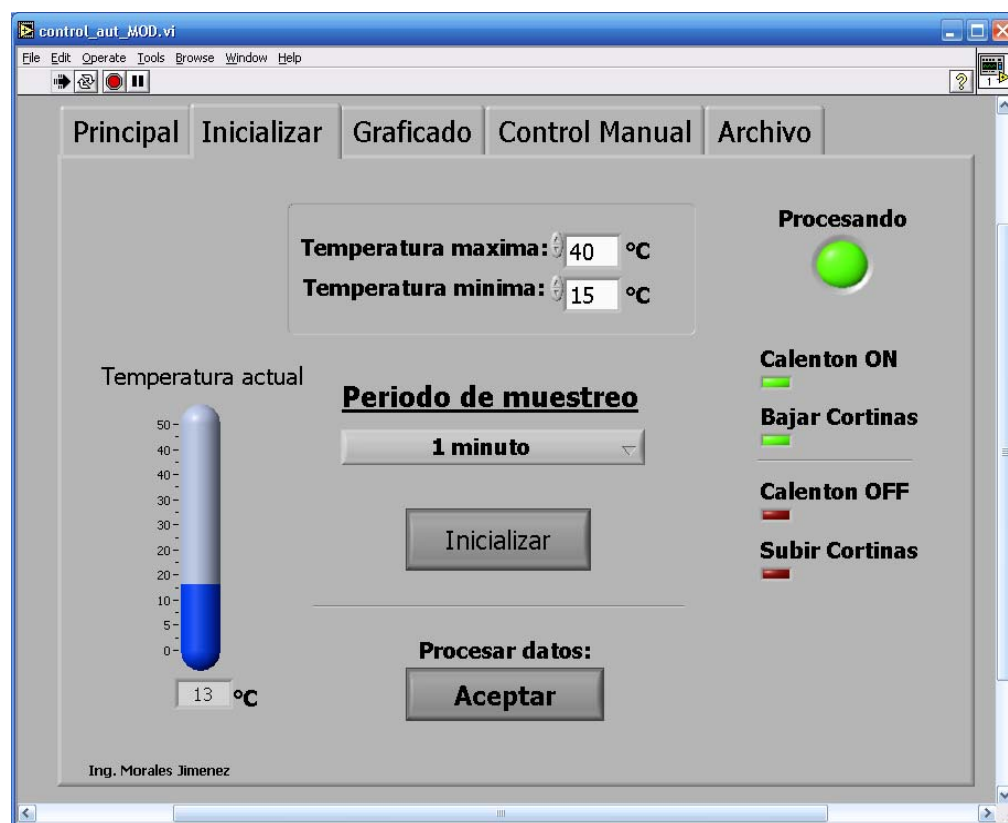


Figura 36. Temperatura excediendo el valor máximo.

El segundo caso es, sí, la temperatura dentro del invernadero es menor al valor establecido en la temperatura mínima, el programa envía al microcontrolador ubicado dentro del invernadero una orden para que las cortinas se bajen y el calentón se encienda, así mismo, en el software se visualiza esta acción en los indicadores **Bajar Cortinas** y **Calentón ON**. El proceso de esta acción se puede observar en la figura 37.

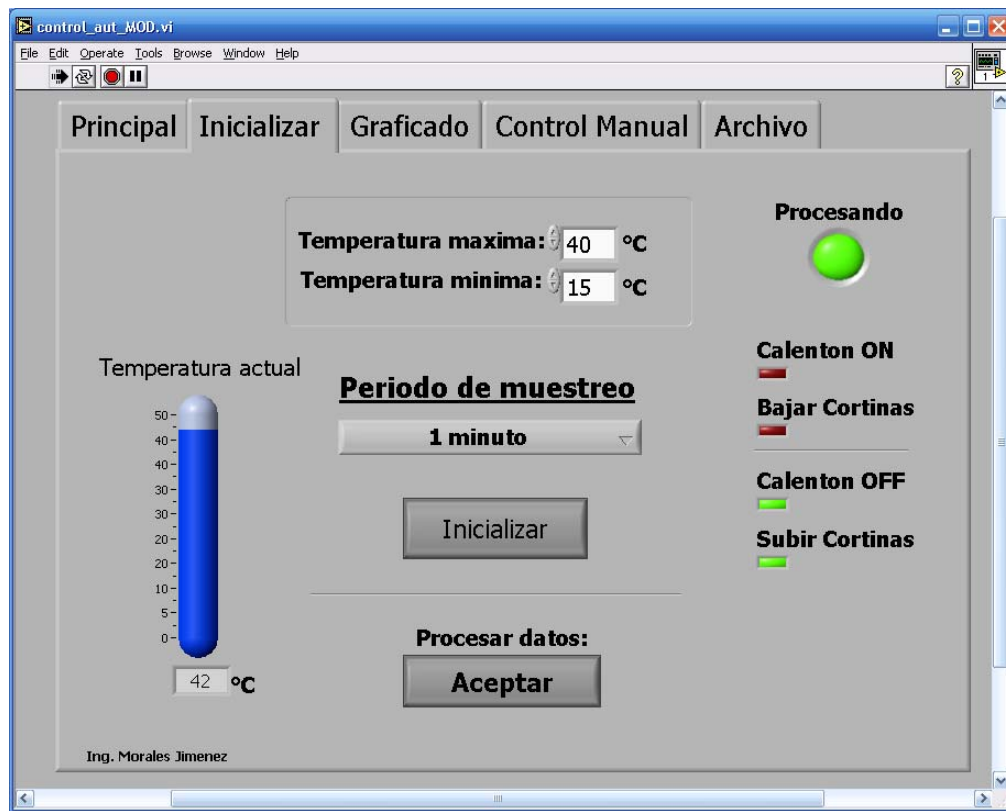


Figura 37. Temperatura actual menor al mínimo establecido.

Anteriormente se comentó la secuencia que sigue el programa cuando el transceiver ubicado en la computadora y el microcontrolador se encuentran encendidos, pero ¿Cuál es la secuencia que sigue el programa cuando alguno o los dos se encuentran ausentes? O ¿Qué acción realiza cuando el valor de la temperatura máxima y mínima coincide?

El software es capaz de tomar una decisión cuando esto ocurre, presentando ventanas emergentes. La primera de ellas es cuando uno o los dos se encuentran ausentes, la cual se puede observar en la figura 38.



Figura 38. Error de conexión.

La ventana emergente muestra el error ocasionado por la ausencia del receptor con el mensaje “Error de conexión, verifique Tx y Rx” y al presionar el botón “Aceptar” el usuario deberá verificar la alimentación tanto del transceiver de la computadora como el del microcontrolador y reiniciar el sistema.

La segunda ventana emergente aparece cuando el valor de la temperatura máxima y mínima coincide. Esta ventana se puede observar en la figura 39.

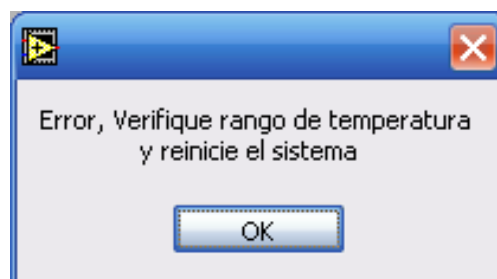


Figura 39. Error en rango de temperatura.

En este mensaje aparece el texto “Error, verifique el rango de temperatura y reinicie el sistema”. El usuario deberá verificar que exista un rango de temperatura a mantener, una vez realizado lo anterior tendrá que reiniciar el sistema.

V.2.3 Graficado de temperatura.

Una vez iniciado el proceso automático el software realiza la solicitud del envío de información al circuito remoto para registrar el valor de la temperatura en un archivo, así mismo ese valor es graficado y se puede visualizar en la opción “**Graficado**”. Este

valor cambia de acuerdo al periodo de muestreo, en la parte inferior de la gráfica se muestra la temperatura actual en °C. Esta opción se puede observar en la figura 40.

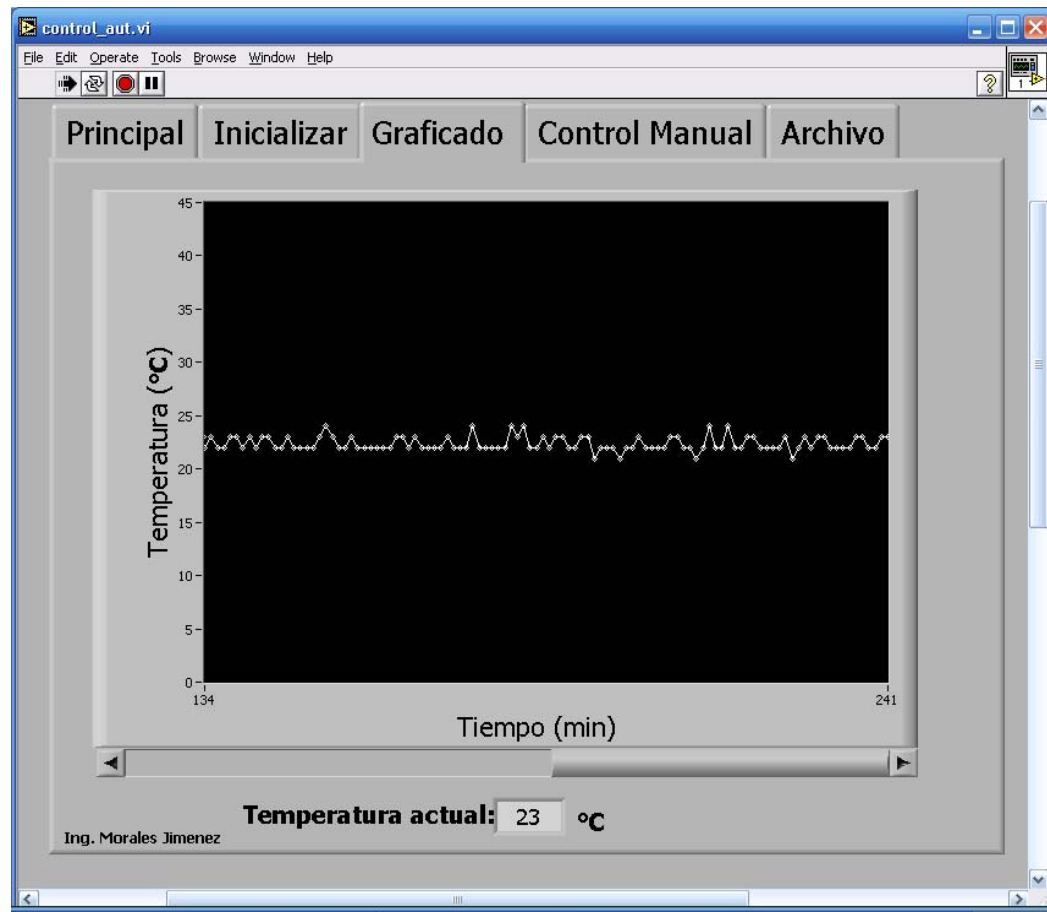


Figura 40. Comportamiento del invernadero en °C.

Si el usuario desea borrar los valores de temperatura en la gráfica lo puede realizar en cualquier instante, ya que el software posee una opción para realizar esta acción. El procedimiento a seguir es el siguiente:

- Pulsar el botón derecho del mouse sobre la gráfica.
- Seleccionar la opción **“Clear Chart”**

Al realizar los pasos anteriores los valores sobre la gráfica inician en el tiempo 0, pero eso no perjudica a los datos anteriores ya que permanecen almacenados en un archivo. Esto se puede observar en la figura 41.

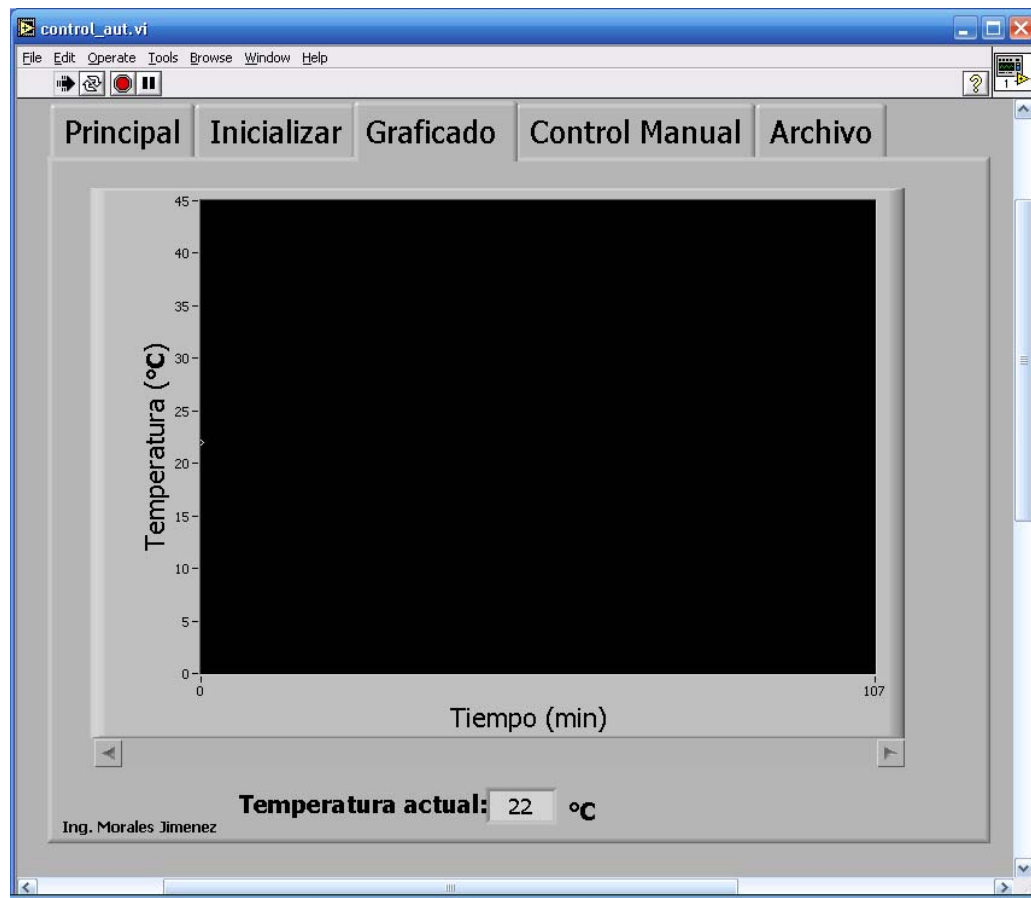


Figura 41. Gráfica re-inicializada.

V.2.4 Control Manual.

Las opciones anteriores son realizadas de manera automática, solo requería de la participación mínima por parte del usuario para iniciar con todo el proceso, pero ¿Qué sucede si el usuario en algún instante desea realizar alguna acción? Por ejemplo, subir una cortina, subir ambas cortinas, apagar el calentón, etc.

El software fue diseñado para dar ese control al usuario mediante el Menú **“Control Manual”**. En este menú se encuentran las opciones:

- Subir cortina izquierda.

- Bajar cortina izquierda.
- Subir cortina derecha.
- Bajar cortina derecha.
- Subir ambas cortinas.
- Bajar ambas cortinas.
- Encender el calentón.
- Apagar el calentón.

Las opciones anteriores se pueden observar en la figura 42.

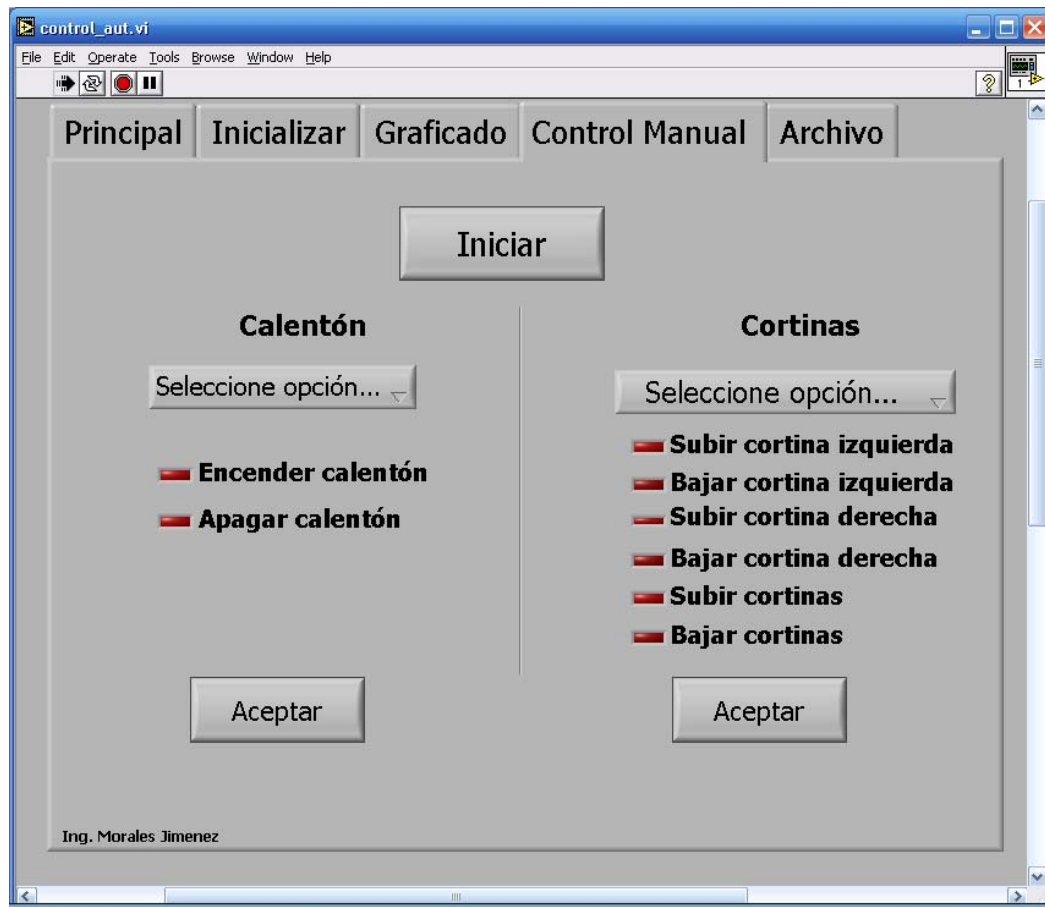


Figura 42. Opciones para el control manual.

Para activar el control manual se necesita presionar el botón “**Iniciar**”, de esta forma el usuario toma el control total sobre el sistema y deja de funcionar el sistema automático. El acceso a esta opción se puede observar en la figura 43.

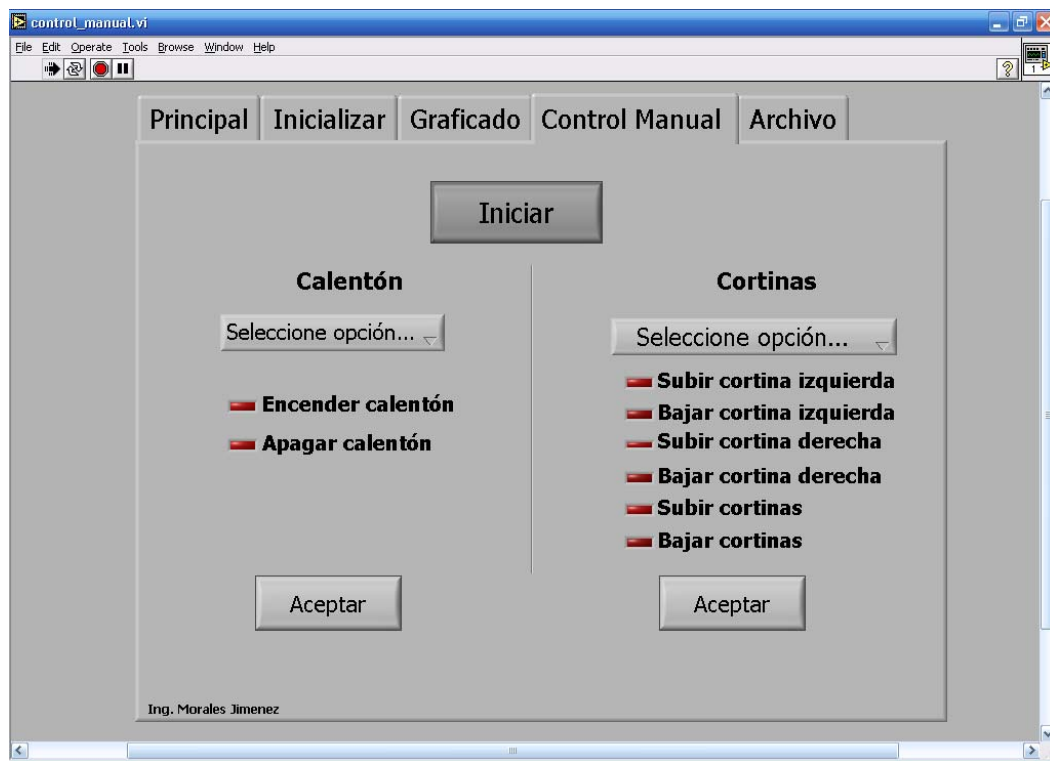


Figura 43. Inicio del control manual.

A continuación se describe más detalladamente como tener acceso a cada una de estas opciones.

V.2.4.1 Subir cortina izquierda.

Si el usuario desea realizar esta acción, debe de seguir la siguiente secuencia:

- Dar click sobre el botón **“Iniciar”**.
- Seleccionar la opción **“Subir cortina izquierda”**.
- Presionar el botón **“Aceptar”**.

Al realizar la secuencia anterior el software se comunica con el microcontrolador ubicado en el invernadero enviando la orden para que inicie el ascenso de la cortina izquierda. Lo descrito anteriormente se puede observar en la figura 44.

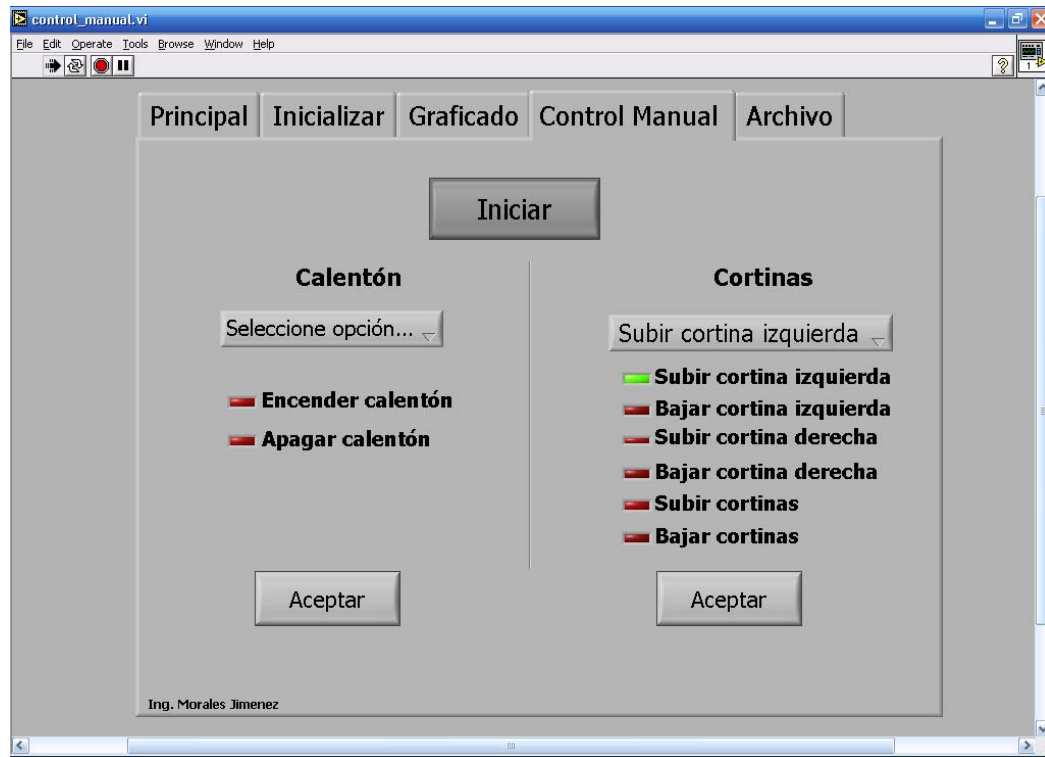


Figura 44. Inicio del ascenso de la cortina izquierda.

V.2.4.2 Bajar cortina izquierda.

Para hacer descender la cortina izquierda el usuario debe de realizar los siguientes pasos:

- Dar click sobre el botón **“Iniciar”**.
- Seleccionar la opción **“Bajar cortina izquierda”**.
- Presionar el botón **“Aceptar”**.

Con los pasos anteriores el software envía la orden al microcontrolador para que realice la acción de hacer descender a la cortina izquierda. Esta acción se puede observar en la figura 45.

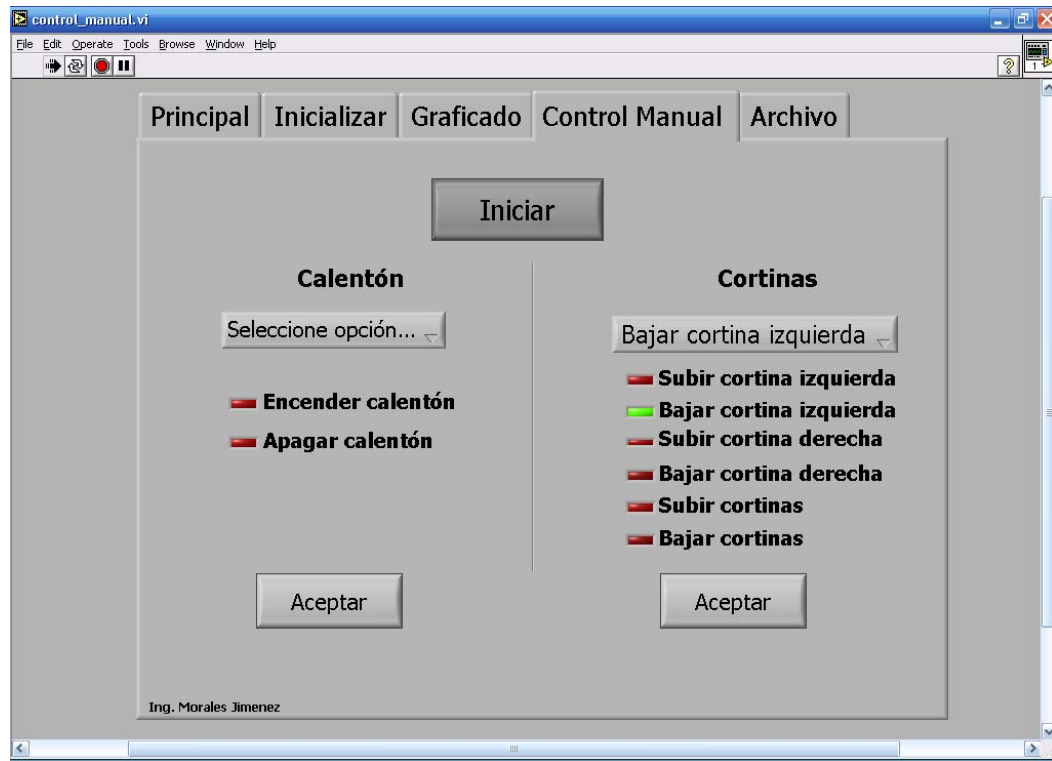


Figura 45. Inicio del descenso de la cortina izquierda.

V.2.4.3 Subir cortina derecha.

Las acciones para el control de la cortina derecha son similares a los de la cortina izquierda, se tiene que seguir la siguiente secuencia:

- Dar click sobre el botón **“Iniciar”**.
- Seleccionar la opción **“Subir cortina derecha”**.
- Presionar el botón **“Aceptar”**.

Al realizar el procedimiento anterior el software se encarga de enviar la orden para que el microcontrolador realice la acción para ascender la cortina derecha. Esto se puede observar en la figura 46.

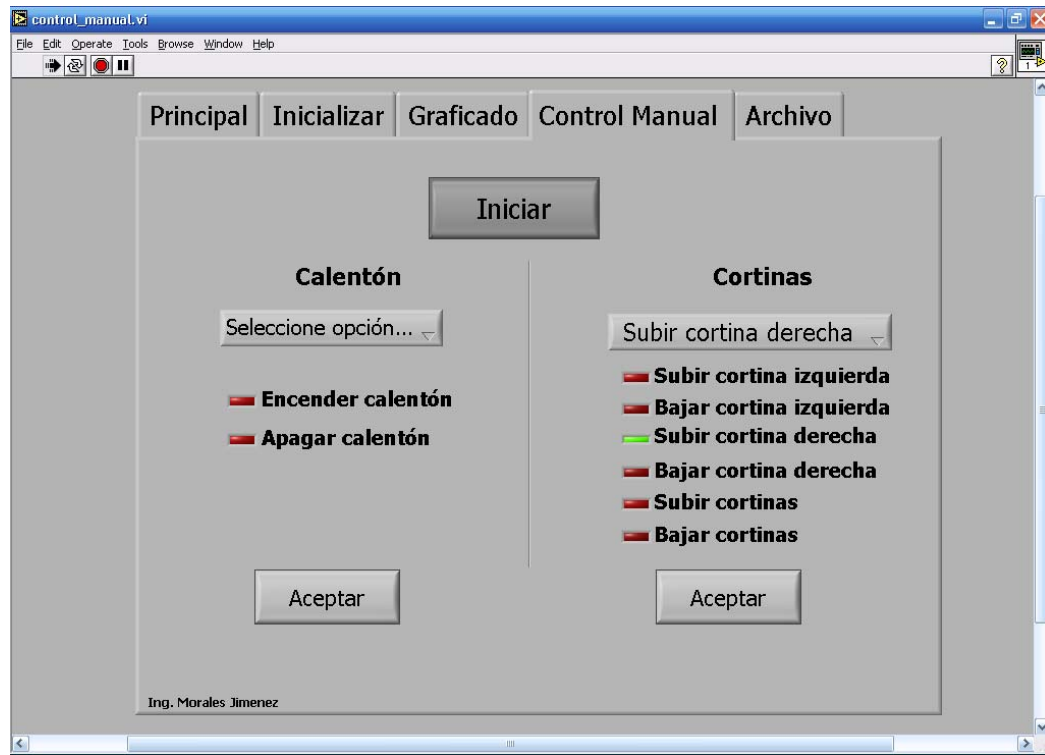


Figura 46. Ascenso de la cortina derecha.

V.2.4.4 Bajar cortina derecha.

Como se mencionó anteriormente, los pasos a realizar son muy semejantes a los de la cortina izquierda, para descender la cortina derecha se realiza la siguiente secuencia:

- Dar click sobre el botón **“Iniciar”**.
- Seleccionar la opción **“Bajar cortina derecha”**.
- Presionar el botón **“Aceptar”**.

Al concluir con el último paso, el software envía la orden al microcontrolador para que éste sea el encargado de realizar la secuencia para hacer descender a la cortina derecha. En la figura 47 se puede observar lo descrito anteriormente.

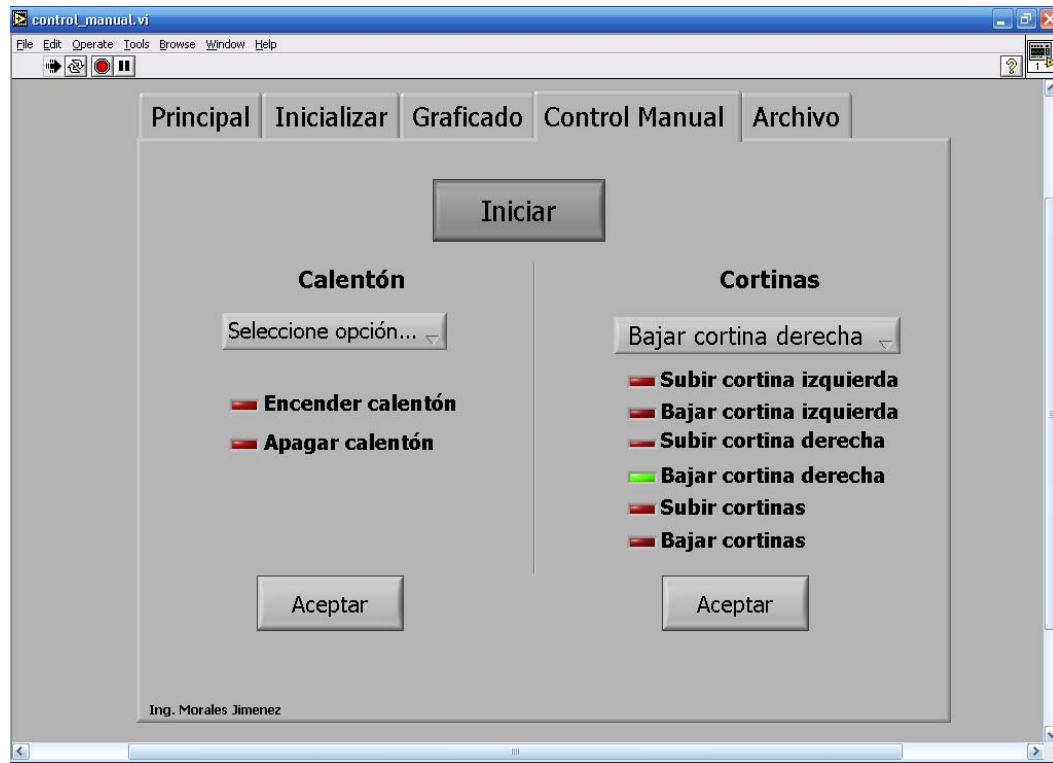


Figura 47. Descenso de la cortina derecha.

V.2.4.5 Subir ambas cortinas.

Para efectuar el control manual sobre las dos cortinas se sigue un procedimiento igual al realizado tanto en la cortina izquierda como en la cortina derecha. Los pasos son los siguientes:

- Dar click sobre el botón **“Iniciar”**.
- Seleccionar la opción **“Subir ambas cortinas”**.
- Presionar el botón **“Aceptar”**.

Al seguir la secuencia anterior, el software envía la información al microcontrolador para que tanto la cortina izquierda como la derecha asciendan. Esta secuencia se puede observar en la figura 48.

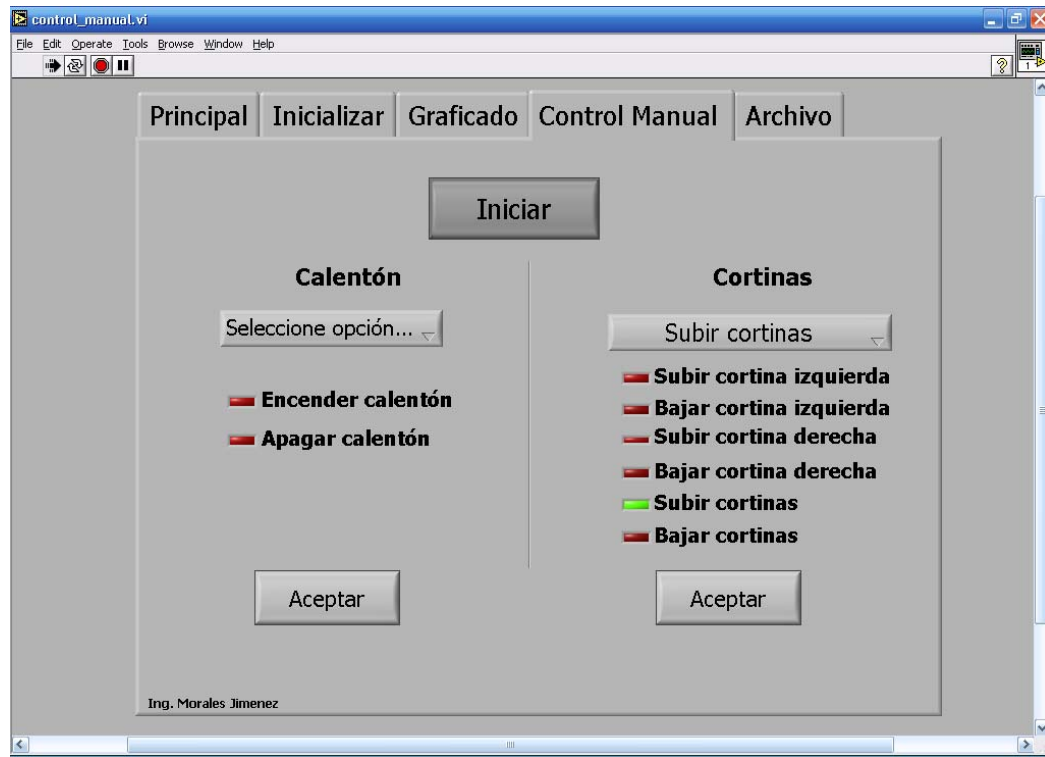


Figura 48. Inicio del ascenso de la cortina izquierda y derecha.

V.2.4.6 Bajar ambas cortinas.

Para hacer descender tanto la cortina izquierda como la derecha solo tiene que seguir el siguiente orden:

- Dar click sobre el botón **“Iniciar”**.
- Seleccionar la opción **“Bajar ambas cortina”**.
- Presionar el botón **“Aceptar”**.

Siguiendo el orden anterior, y al efectuar el último paso la computadora envía la orden al microcontrolador para que éste realice la secuencia para hacer descender a la cortina izquierda y derecha. Los pasos anteriores se pueden observar en la figura 49

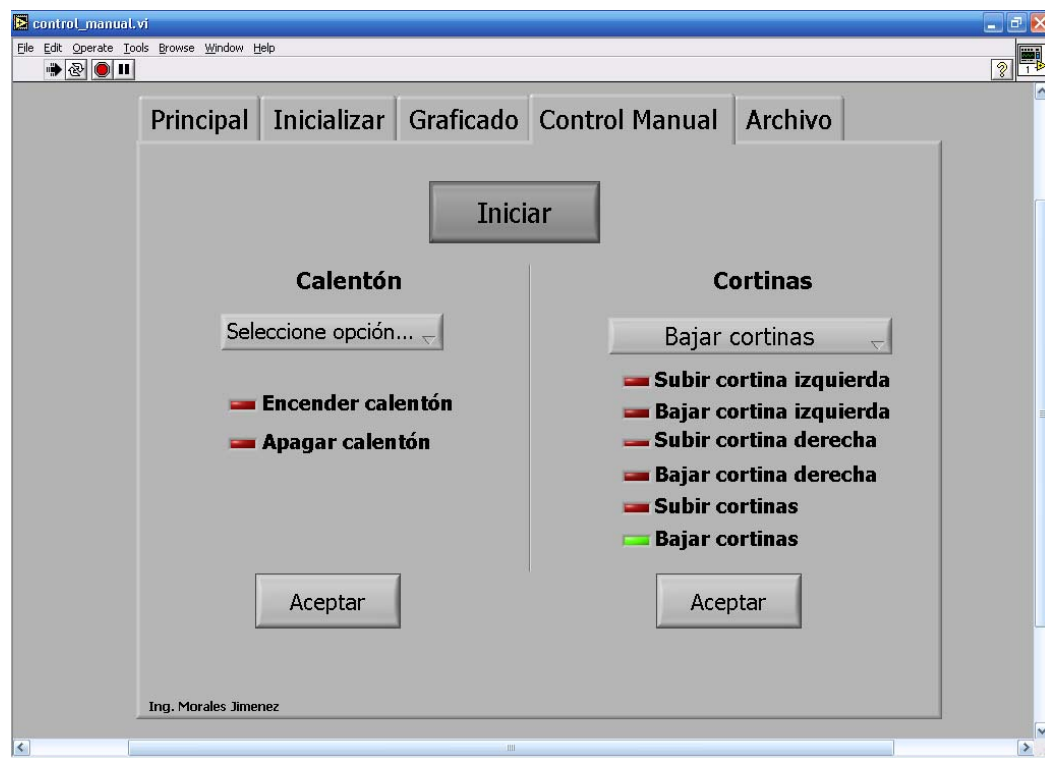


Figura 49. Inicio del descenso de la cortina izquierda y derecha.

V.2.4.7 Encender calentón.

Para que el microcontrolador realice la acción de encender el calentón, el usuario deberá en el software seguir el siguiente orden:

- Dar click sobre el botón **“Iniciar”**.
- Seleccionar la opción **“Encender calentón”**.
- Presionar el botón **“Aceptar”**.

La secuencia descrita anteriormente se puede observar en la grafica 50.

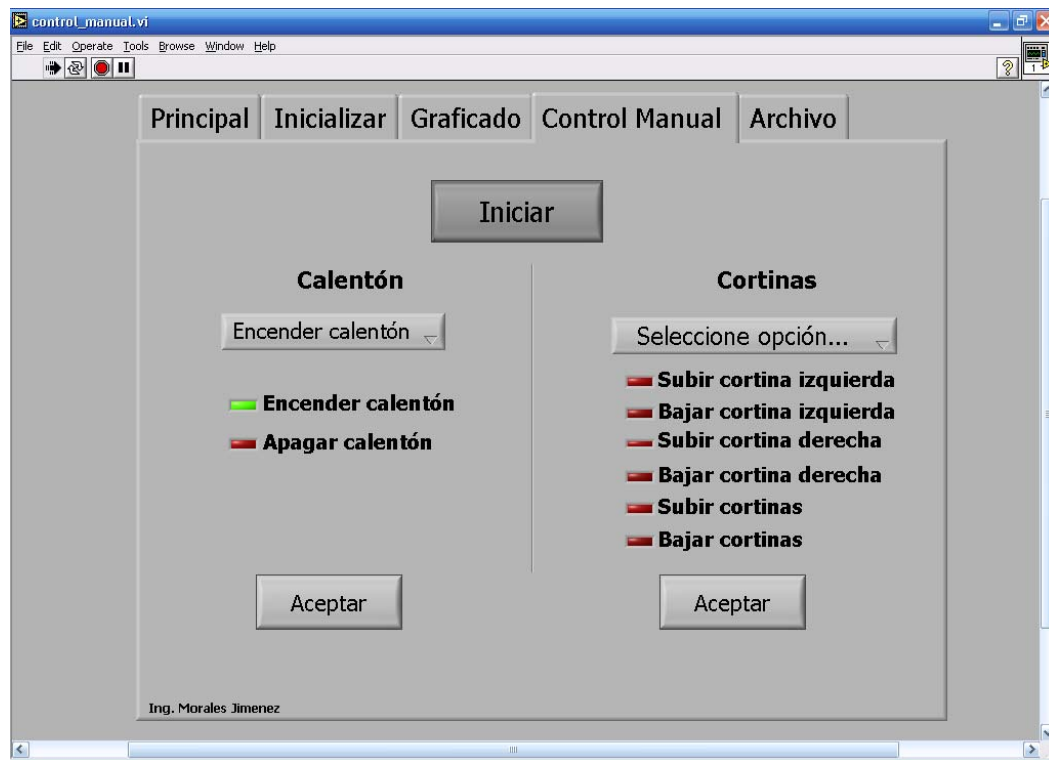


Figura 50. Encendiendo calentón.

V.2.4.8 Apagar calentón.

La secuencia anterior fue para encender el calentón, pero el procedimiento a seguir es muy similar para que el microcontrolador ubicado dentro del invernadero apague el calentón, los pasos a realizar son:

- Dar click sobre el botón **“Iniciar”**.
- Seleccionar la opción **“Apagar calentón”**.
- Presionar el botón **“Aceptar”**.

Estos pasos se pueden observar en la figura 51.

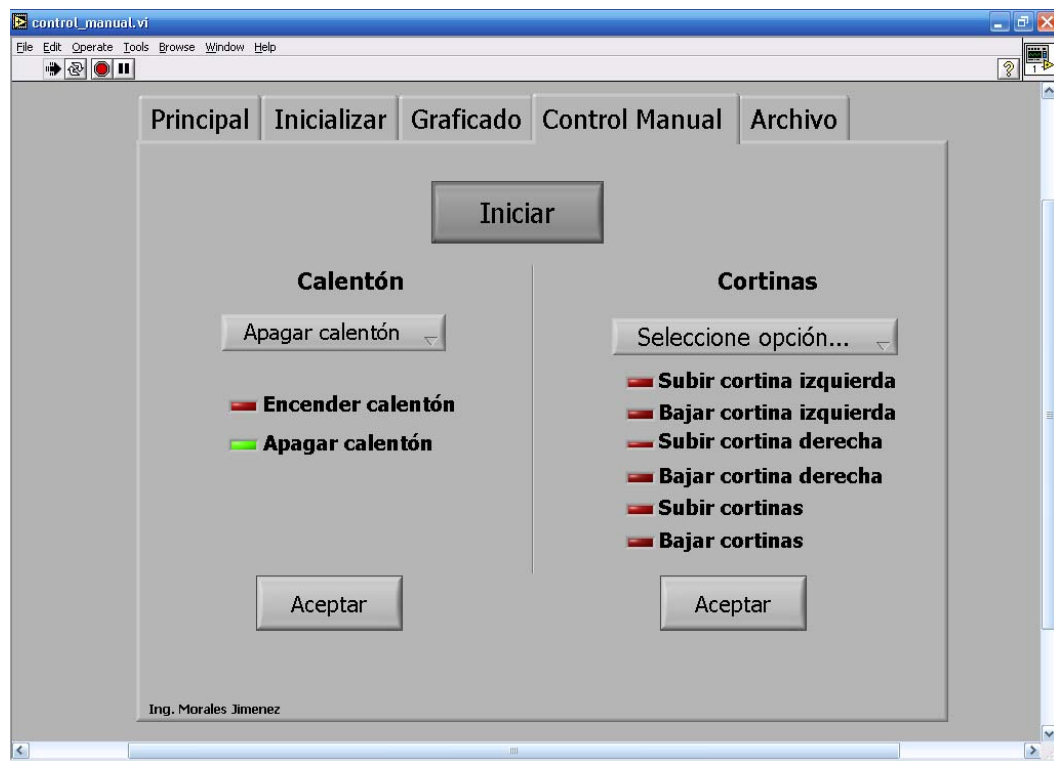


Figura 51. Apagando calentón.

En general para mantener el control manual sobre el sistema se requieren de tres pasos, al presionar sobre el botón “Iniciar” se activan todas las opciones anteriores y solo se necesitan de los últimos dos pasos, es decir, seleccionar la acción a ejecutar y dar click sobre el botón “**Aceptar**”.

V.2.5 Menú Archivo.

El sistema guarda de manera automática los datos, pero ¿Qué sucede si el usuario en algún momento desea ver los datos de días anteriores? para tal caso existe el menú **Archivo**, el cual brinda la opción de abrir archivos almacenados. Para tener acceso al archivo, se debe presionar sobre la opción “**Aceptar**”. Una vez abierto el archivo, este menú muestra la temperatura máxima y mínima de ese archivo, si el

usuario desea abrir más archivos, el sistema cuenta con esta opción y la operación que realiza es desplazar las muestras existentes y continuar graficando los datos actuales, así mismo muestra el valor de la temperatura máxima y mínima en °C. Esto se puede apreciar en la figura 52.

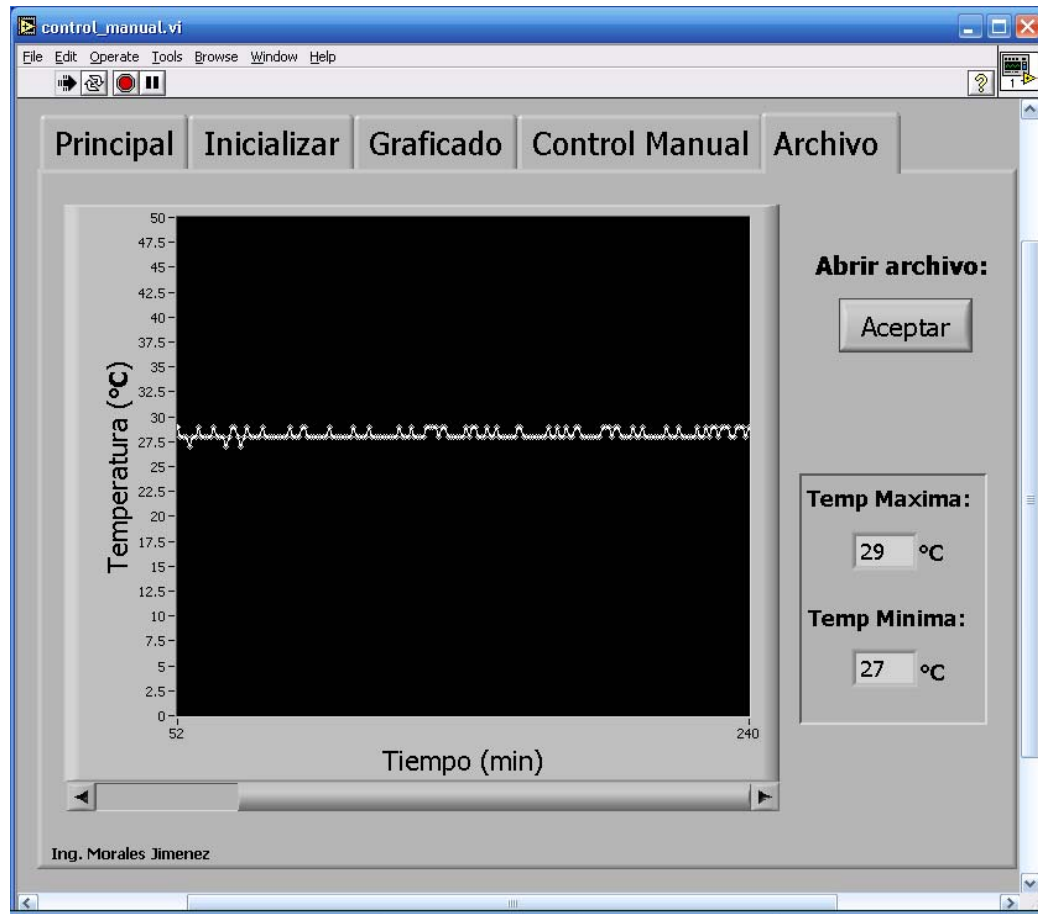


Figura 52. Menú archivo.

CAPÍTULO VI.

VI.- RESULTADOS.

Para llevar a cabo los diseños de los diagramas de conexión descritos en el Capítulo III en tarjeta impresa, se necesitó de un programa de computo especializado en elaboración de circuitos, el programa elegido fue EAGLE® versión 5.0, ya que posee las herramientas necesarias para el manejo de componentes electrónicos.

VI.1 Desarrollo del prototipo transmisor.

El diagrama en PCB mostrado en la figura 53 se obtuvo para la fabricación del prototipo del circuito transmisor en tarjeta impresa, la cual se puede observar en la figura 54.

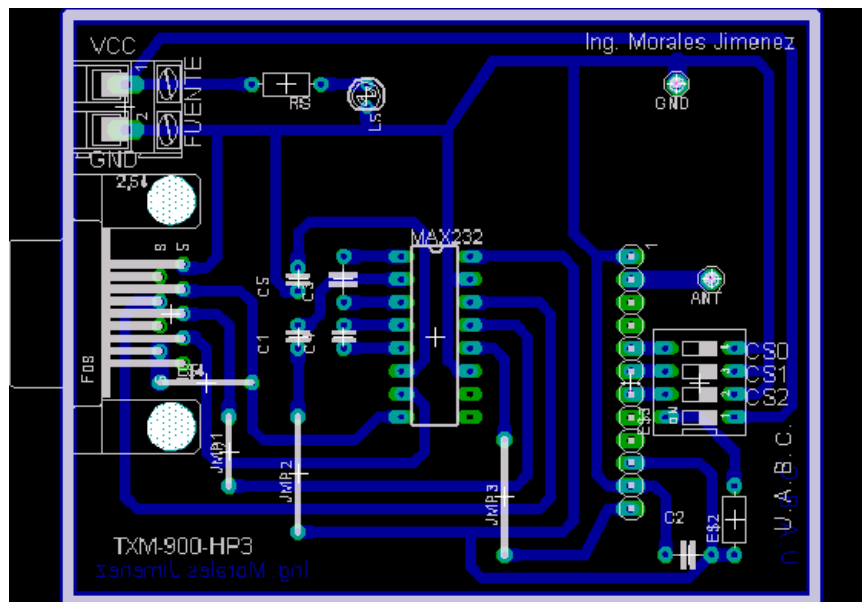


Figura 53. Circuito transmisor en PCB.



Figura 54. Tarjeta de componentes del circuito transmisor.

El diagrama de las pistas para la interconexión de cada uno de los componentes en la tarjeta del prototipo transmisor se puede observar en la figura 55.



Figura 55. Tarjeta de pistas del circuito transmisor.

VI.2 Desarrollo del prototipo receptor.

De la misma forma que en el circuito transmisor, el procedimiento fue similar, del diagrama de conexión proporcionado por el fabricante se procedió a realizar el diagrama en PCB y el resultado se puede observar en la figura 56.

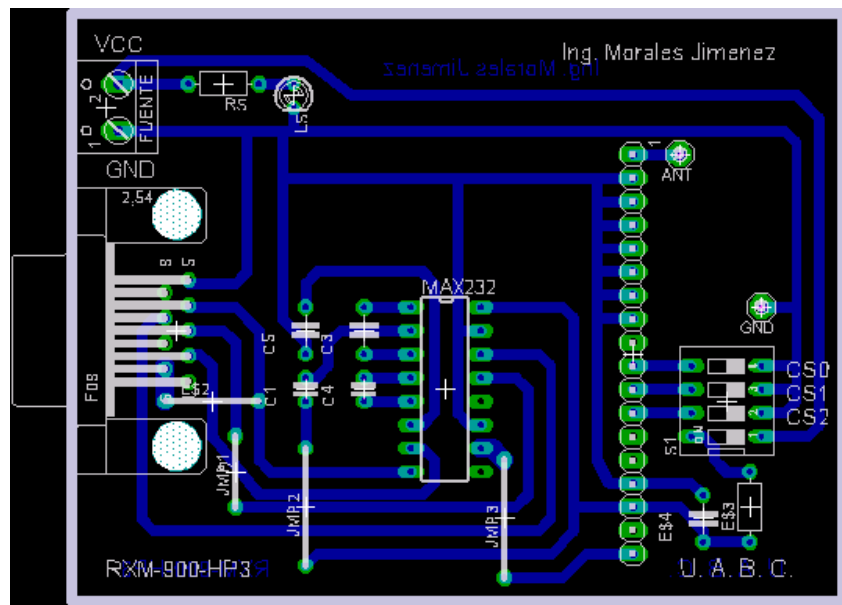


Figura 56. Circuito receptor en PCB.

Una vez llevado a cabo el diagrama en PCB, se procedió a la fabricación del prototipo para el circuito receptor, el cual se puede observar en la figura 57.



Figura 57. Tarjeta de componentes del circuito receptor.

Al igual que en la tarjeta del prototipo transmisor, el circuito receptor tiene líneas de interconexión entre los componentes, esto se puede observar en la figura 58.

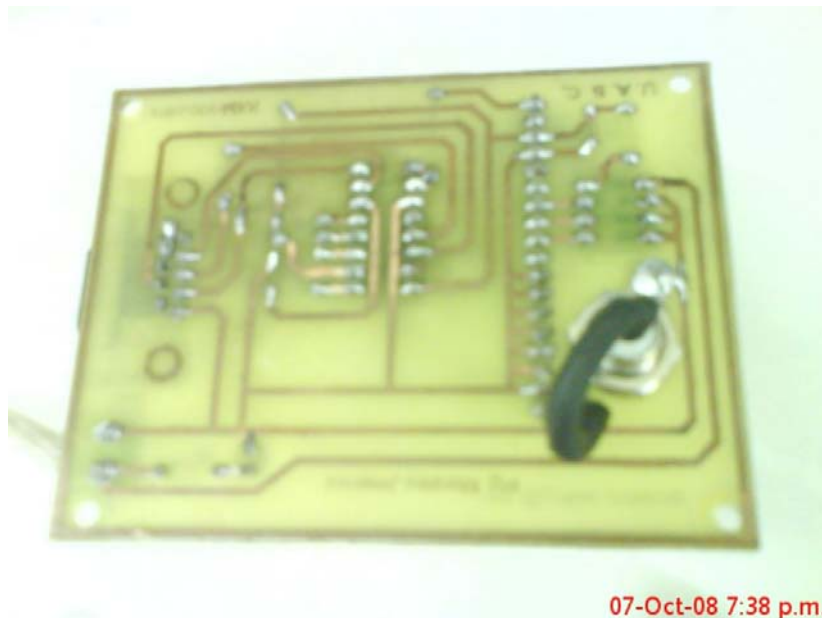


Figura 58. Tarjeta de pistas del circuito receptor.

VI.3 Desarrollo del prototipo transceiver.

Como se mencionó en el capítulo III, una vez comprobado el funcionamiento individual de cada prototipo se procede a la construcción de un prototipo transceiver, este prototipo fue diseñado para que en una misma tarjeta se tenga funcionando a todo el sistema, y al igual que con el circuito receptor y transmisor se procedió a la realización del circuito en PCB.

El resultado del diagrama en PCB se puede observar en la figura 59.

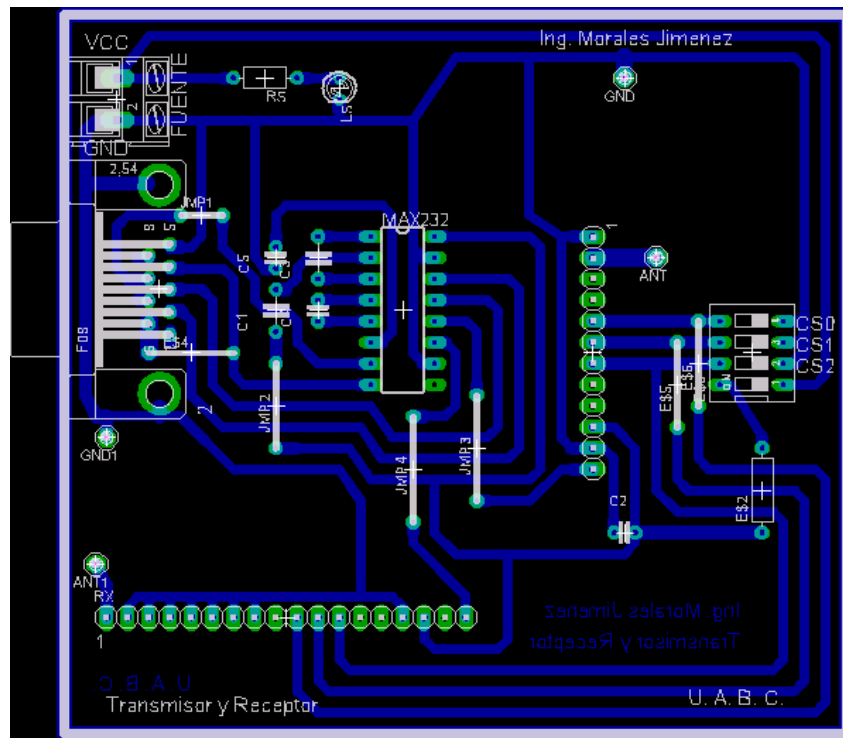


Figura 59. Circuito transmisor y receptor en PCB.

De la misma forma que en los casos del circuito transmisor y receptor, con el diagrama en PCB se realizó el prototipo en tarjeta impresa, la cual se puede observar en la figura 60.



Figura 60. Tarjeta de componentes del circuito transmisor y receptor.

Las pistas que interconectan a cada uno de los componentes se puede observar en la figura 61.

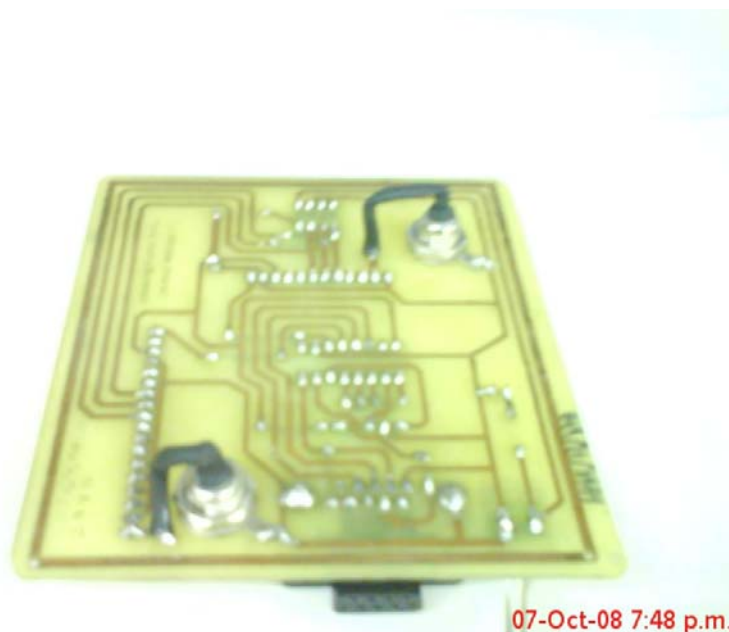


Figura 61. Líneas de interconexión entre los componentes del circuito transmisor y receptor.

VI.4 Desarrollo del producto final.

El transceiver diseñado mostrado en la figura 60, funcionó correctamente, con el se pueden enviar y recibir datos, pero el envío y recepción de datos se efectúa dentro de la misma computadora, es decir, la información que se envía por el pin de transmisión TX del puerto serie se recibe por el pin de recepción RX del puerto serie de la computadora, debido a que se usa un solo canal, en el cual el transmisor y receptor sintonizan la misma frecuencia y con este diseño no se puede establecer comunicación con el transceiver que se encuentra en el invernadero, además la selección del canal a usar se realiza de forma manual mediante un selector, un dip switch.

Para establecer la comunicación entre el transceiver de la computadora y el transceiver del microcontrolador se requieren de dos canales, por un canal la computadora envía comandos a ejecutar y en otro canal recibe información para procesar y tomar decisiones. Para tener el control total por software requiere de la incorporación de nuevos componentes.

El componente principal es el puerto paralelo, utilizando los bits D0, D1 y D2 se reemplaza al dip switch, y de esta forma se selecciona el canal a usar, para proteger la tarjeta madre de la computadora por algún fallo, por tal motivo se incorporó el integrado 74LS245, el cual está configurado para que funcione de manera unidireccional, es decir, datos de la computadora hacia el transceiver.

Una vez reunidos todos los componentes, se procedió al diseño de un diagrama para el producto final y ser realizado en PCB, el cual se puede observar en la figura 62.

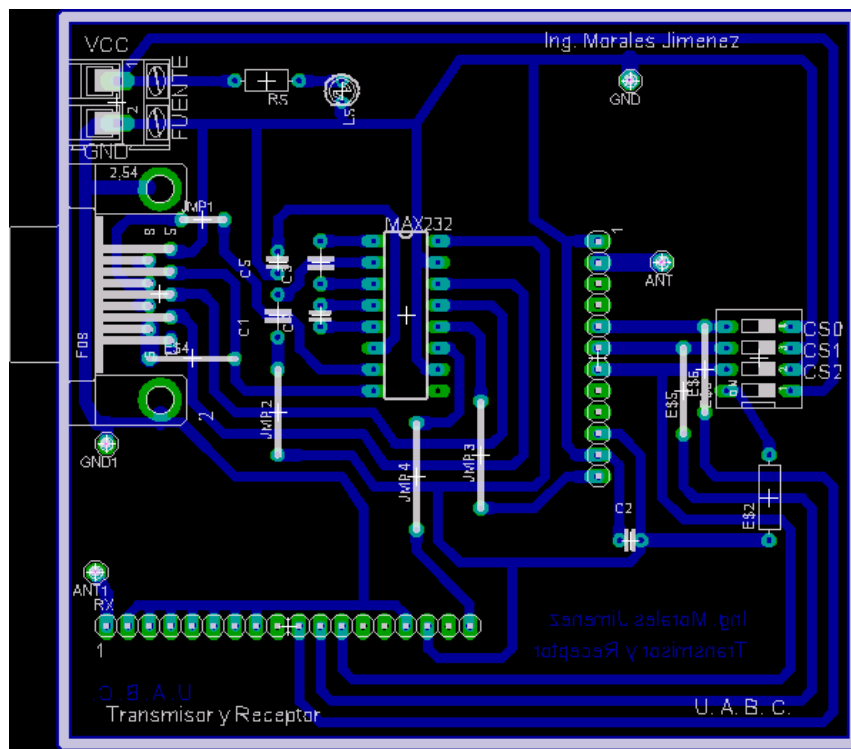


Figura 62. Diagrama del Transceiver final.

Una vez obtenido el diagrama en PCB, se procedió a realizar el mismo procedimiento que se utilizó en los casos anteriores, y el resultado se puede observar en la figura 63.



Figura 63. Vista superior del circuito transceiver.

En la figura 63 se puede observar la ubicación de cada uno de los componentes, y estos a su vez se encuentran interconectados por líneas en las cuales circula la información. Las líneas que interconectan a cada uno de los componentes se puede observar en la figura 64.

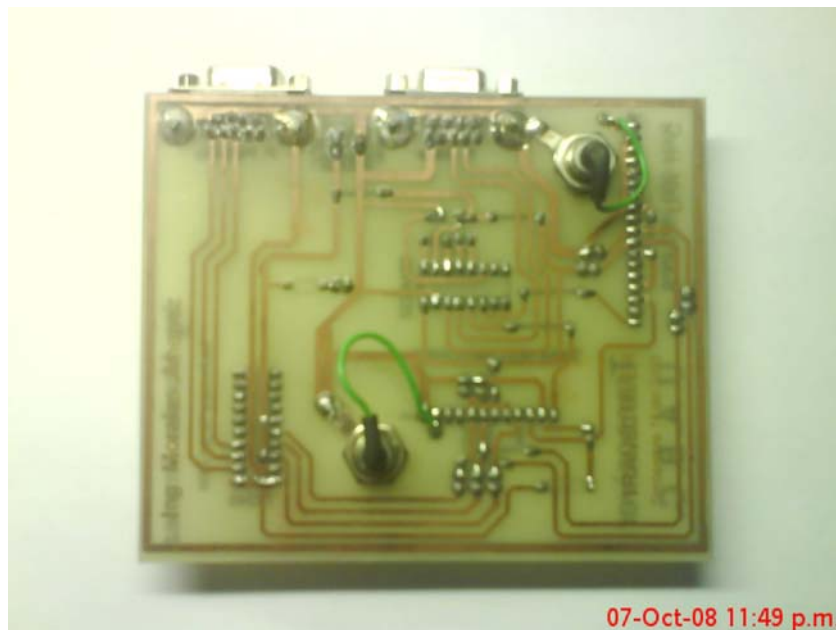


Figura 64. Vista inferior del circuito transceiver.

Con este último diseño se obtiene el producto final, el cual reúne las siguientes características eléctricas:

- Transmisión de información por el pin TX del puerto serie utilizando el canal 4, el cual transmite información a la frecuencia de 912.37 MHz.
- Recepción de datos por el pin RX del puerto serie el cual ocupa el canal 2, utilizando una frecuencia a 907.87 MHz para recibir datos provenientes del transceiver ubicado dentro del invernadero.

El producto final se puede observar en la figura 65.



Figura 65. Vista frontal del producto final (Transceiver).

La figura 65 muestra los conectores para mantener comunicación con la computadora. Mientras que la figura 66 muestra las terminales para la alimentación del transceiver, así mismo se pueden observar las antenas una corresponde al transmisor y la otra al receptor.



Figura 66. Vista posterior del producto final.

VI.5 Mediciones

Como se explicó anteriormente, cada circuito fue evaluado por separado para obtener el producto final y en cada uno de los prototipos se realizaron mediciones, las cuales se mencionan a continuación.

En cada una de las mediciones se siguió un diagrama a bloques, para el transmisor se puede observar en la figura 67.

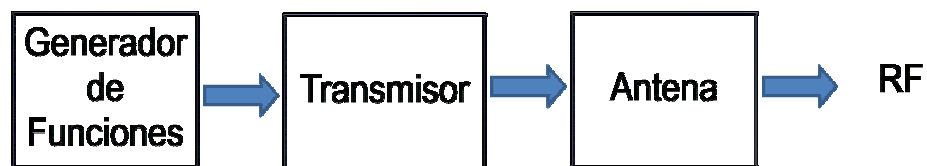


Figura 67. Diagrama a bloques para mediciones (Tx).

El diagrama a bloques para efectuar las mediciones en el transmisor se implementó físicamente, el cual se puede observar en la figura 68.

Figura 68. Diagrama a bloques del Banco de mediciones del Transmisor.

Para el circuito receptor se utilizó el diagrama a bloques mostrado en la figura 69.

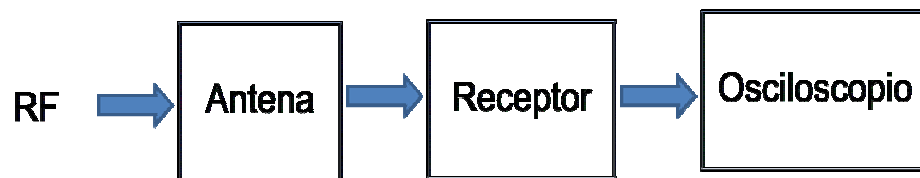


Figura 69. Diagrama a bloques para mediciones (Rx).

De manera similar que en el diagrama a bloques del circuito receptor, se implementó el diagrama físicamente, el cual se puede observar en la figura 70.

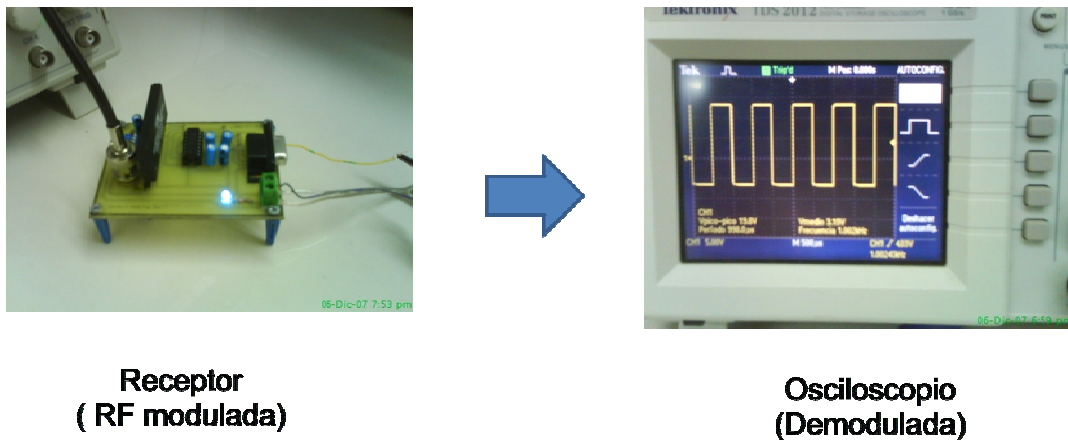


Figura 70. Diagrama a bloques del Banco de mediciones del Receptor.

La primera medición efectuada consistió en establecer comunicación entre el transmisor y receptor y verificar la cantidad de información que se puede enviar y recibir, para lo cual el equipo utilizado es el siguiente:

- Fuente de alimentación BK PRECISION 1651A.
- Generador de señales BK PRECISION 4010A.
- Osciloscopio Tektronix TDS 2014.
- Analizador de espectros INSTEK GSP - 810.
- Multímetro BK PRECISION 2407A.

El procedimiento a seguir se presenta a continuación:

Con el generador de señales se generó la información digital, la cual es introducida por el pin TX del puerto serie, utilizando la interfaz MAX232 se convierten los niveles RS-232 a niveles TTL, para posteriormente aplicarlos al circuito transmisor para que

modulen la portadora RF y de esta forma ser enviados al espacio libre por medio de una antena.

Con lo cual se obtuvieron los siguientes resultados, y se pueden observar en la tabla 7.

VI.5.1 Mediciones en banda base.

Tabla 7. Comportamiento del transmisor y receptor a frecuencias menores a 4 KHz.

Frecuencia (Hz)		Información
Transmisor	Receptor	Aproximación en bps
10	10	20
20	20	40
50	50	100
100	100	200
400	400	800
500	500	1000
1000	1000	2000
2000	2000	4000
4000	4000	8000

Las mediciones mostradas anteriormente se llevaron a cabo en frecuencias inferiores a 4 KHz. El sistema desarrollado transmite a una velocidad de 9600 bps, para lo cual el rango importante a evaluar es el comprendido entre los 4 KHz a los 5 KHz, los resultados de esta evaluación se muestran en la tabla 8.

Tabla 8. Comportamiento del transmisor y receptor a frecuencias superiores a 4 KHz.

Frecuencia (KHz)		Información
Transmisor	Receptor	Kbps
4.4	4.4	8.8
4.5	4.5	9
4.7	4.7	9.4
4.8	4.8	9.6
4.9	4.9	9.8
5	5	10
7	7	14
10	10	20
15	15	30
20	20	40
25	25	50
30	30	60
35	¿?	70
39	¿?	78
40	¿?	80
40.5	¿?	91

En la tabla 8 se observa el comportamiento del transmisor y receptor, en el sistema diseñado se seleccionó una velocidad de 9600 bps, por lo tanto el sistema es capaz de enviar y recibir la información proveniente del microcontrolador o la computadora a la velocidad seleccionada. Las frecuencias en color rojo de la tabla 8 indican que a esos valores la señal enviada no se podía recuperar, por lo tanto se comprueba experimentalmente la especificación que nos dice el fabricante acerca de la velocidad de transmisión, la cual es de 56 Kbps.

VI.5.2 Mediciones de consumo de corriente.

Las tablas 7 y 8 muestran el comportamiento que presentan los circuitos transmisor y receptor al estar procesando información, pero ¿Cuál es el consumo de energía de estos componentes cuando se encuentran encendidos y apagados?

Para evaluar el consumo de corriente de estos dispositivos se realizaron las mediciones de corriente transmitiendo y recibiendo señales a distintas frecuencias, el resultado que se obtuvo se puede observar en la tabla 9.

Tabla 9. Consumo de corriente del transmisor y receptor.

Frecuencia (KHz)		Consumo de Corriente (mA)	
Transmisor	Receptor	Transmisor	Receptor
4.4	4.4	20.51	24.69
4.5	4.5	20.51	24.69
4.7	4.7	20.51	24.82
4.8	4.8	20.52	24.82
4.9	4.9	20.52	24.82
5	5	20.52	24.83
7	7	20.52	24.83
10	10	20.52	25.10
15	15	20.52	25.43
20	20	20.52	25.69
25	25	20.53	25.93
30	30	20.53	26.13
35	¿?	20.53	26.30
39	¿?	20.53	26.42
40	¿?	20.54	26.43
40.5	¿?	20.54	26.43

Como se puede observar en la tabla 9, el consumo de corriente se mantiene casi constante (20.52 mA) aún transmitiendo a distintas frecuencias.

La tabla 9 nos presenta el consumo de corriente de los componentes utilizados en el transceiver, en el cual, a la velocidad de operación (9600 bps) del sistema diseñado para transmitir y recibir datos presenta un bajo consumo de energía.

Estos componentes para mantener un ahorro de energía cuentan con un pin “PDN” que los mantiene en modo de hibernación, su eficiencia se comprobó y se obtuvieron los resultados mostrados en la tabla 10.

Tabla 10. Consumo de corriente en modo ahorro de energía.

Frecuencia		Consumo de corriente (mA)	
Transmisor	Receptor	Transmisor	Receptor
Modo ahorro de energía		2.23	2.23

Como se puede observar en la tabla 10, el ahorro de energía es muy significativo, ya que reduce su consumo en un 92% aproximadamente.

VI.5.3 Medición del desfaseamiento de las señales transmitidas y recibidas.

Durante el proceso de evaluación a los componentes contenidos en el transceiver se observó un desfaseamiento entre la señal digital transmitida y la recibida, este comportamiento se midió y los resultados se pueden observar en la tabla 11.

Tabla 11. Desfasamiento entre el transmisor y receptor.

Frecuencia (KHz)		Desfasamiento
Transmisor	Receptor	ϕ°
.1	.1	0
.2	.2	0
.4	.4	0
.5	.5	3.6
1	1	9
2	2	20
4	4	40.3
4.2	4.2	42.33
4.4	4.4	44.35
4.8	4.8	48.38
5	5	50.4
7	7	70.56
10	10	100.8
15	15	156.6
17	17	180
20	20	223.2
25	25	270
30	30	298.8
35	35	318.6

El procedimiento a seguir para conocer el desfasamiento es aplicar la regla de 3 en grados, en el cual los datos conocidos son; el periodo total de cada señal en grados, el periodo en cada frecuencia y el retraso en μs proporcionado por el osciloscopio.

Un ejemplo para conocer el desfaseamiento que existe en la frecuencia de 500 Hz.

Datos conocidos:

- Frecuencia: 500 Hz.
- Periodo total en grados: 360° .
- Retraso medido en el osciloscopio: $20\mu S$.

Solución:

De la frecuencia se obtiene el periodo, con la relación $T = \frac{1}{F}$. Por lo tanto, el periodo es:

$$T = \frac{1}{500 \text{ Hz}} = 2mS$$

Aplicando la regla del 3

$$2mS \longrightarrow 360^\circ$$

$$20\mu S \longrightarrow X$$

$$\phi = \frac{(20\mu S)(360^\circ)}{2mS} = 3.6^\circ$$

Por lo tanto el desfaseamiento a una frecuencia de 500 Hz, son 3.6° .

El procedimiento aplicado para conocer el desfaseamiento en las distintas frecuencias fue el mismo.

El comportamiento de las señales mostradas en las tablas 7 y 8 fueron observadas desde un osciloscopio, para las frecuencias inferiores a 500 Hz se obtuvo el siguiente comportamiento, en la figura 71 se observa claramente que aún no existe desfaseamiento entre la señal transmitida y la recibida.

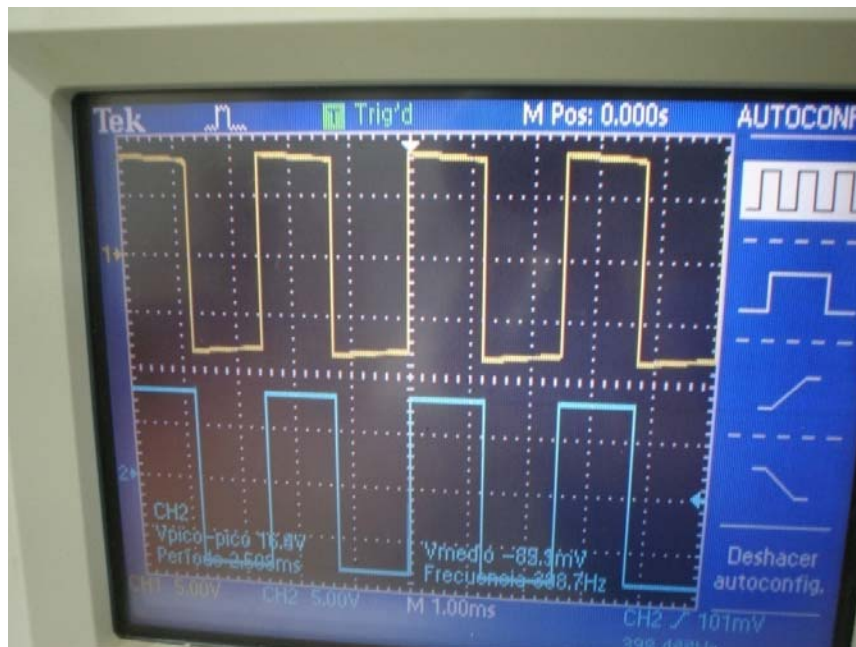


Figura 71. Mediciones realizadas en banda base (100 Hz).

De igual forma, para las frecuencias superiores a los 500 Hz se estuvo monitoreando el comportamiento de las señales Tx y Rx y se obtuvo el resultado mostrado en la figura 72 en el cual se observa que existe un desfase entre ambas señales, conforme aumenta la frecuencia de la información, este desfase se incrementa también.

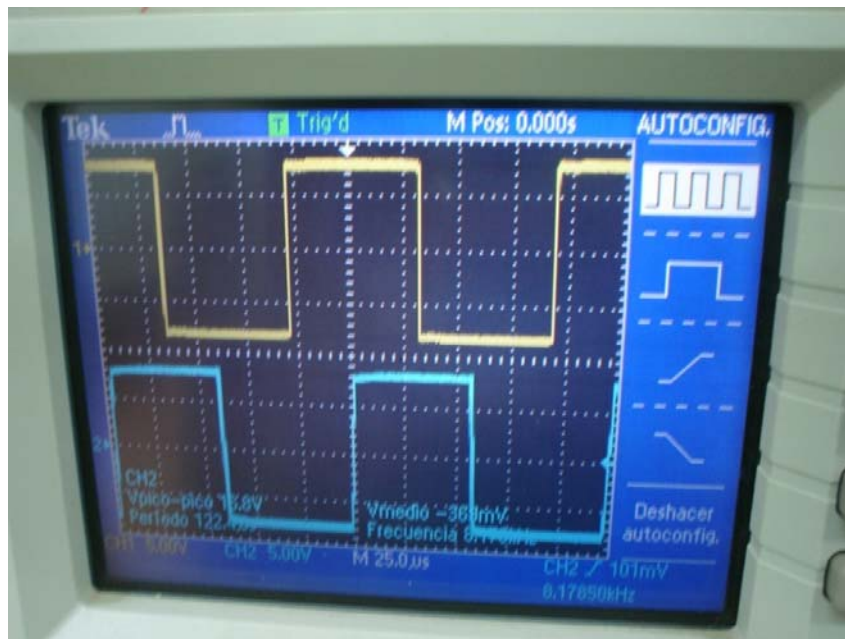


Figura 72. Comportamiento del transmisor y receptor a frecuencias > 500 Hz.

VI.5.4 Mediciones en RF

Como se mencionó en capítulos anteriores, el tipo de modulación y demodulación que utilizan estos dispositivos es FSK, se verificó mediante un analizador de espectros, y la figura 73 muestra el comportamiento de la señal cuando la señal portadora no está presente (transmisor desactivado).

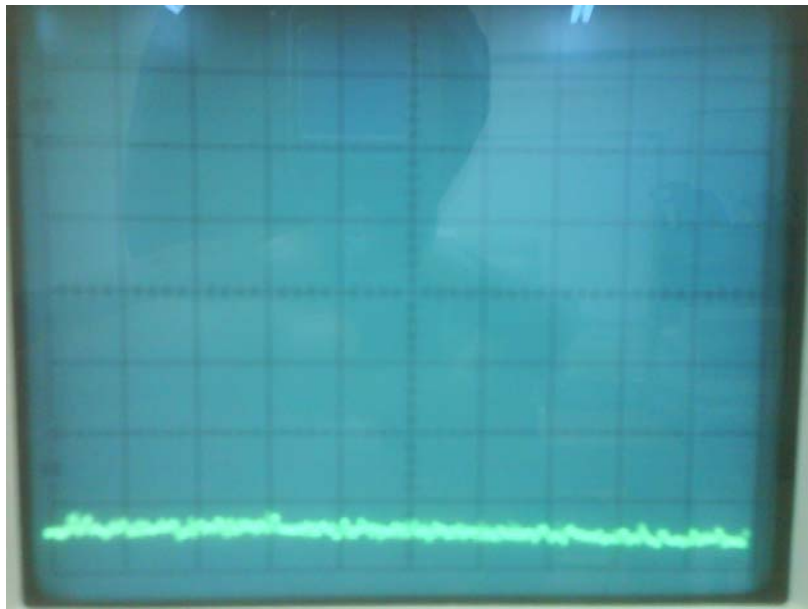


Figura 73. Analizador de espectros sin señal portadora de RF.

Una vez encendido el circuito transmisor, se genera la señal portadora. El comportamiento de esta señal se puede observar en la figura 74.

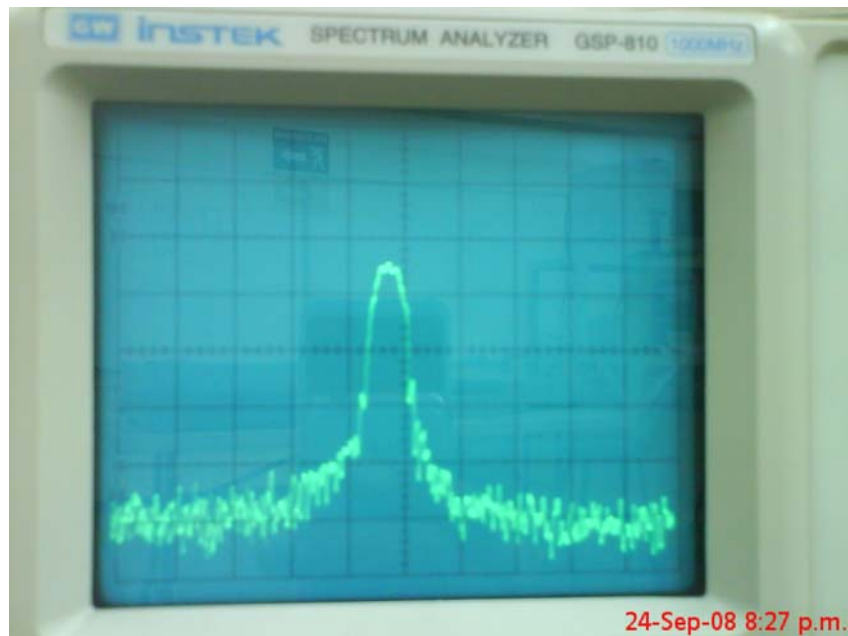


Figura 74. Espectro de la señal portadora (CF=921.37 MHz), Canal 7.

Una vez generada la señal portadora se introducen datos, la información procesada corresponde a una señal cuadrada a 1 KHz, la cual se puede observar en la figura 75 el comportamiento de la señal RF modulada en FSK.

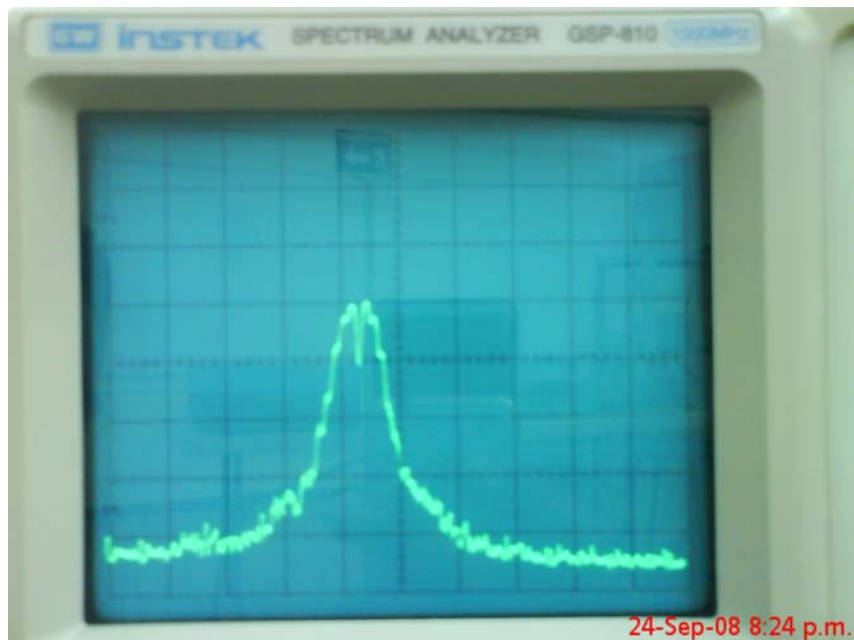


Figura 75. Espectro de la señal de RF con información (1KHz cuadrada).

VI.5.5 Mediciones de temperatura con el producto final.

El sistema final fue sometido a prueba, para verificar que reciba y almacene datos y de manera paralela esos datos se visualizan en una gráfica, los datos están almacenados en la siguiente ruta: C:\Labview y los archivos se guardan en nombre de fecha con números progresivos. Un ejemplo es el archivo: sensor1_08-09-25_1459, esta prueba se realizó con un periodo de muestreo de 1 minuto. La tabla 12 muestra los datos almacenados.

Tabla 12. Datos almacenados en la computadora.

Temperatura °C
23
25
25
26
25
24
25
24
25
25
26
25
25
24
25
25
26
25
26
25
25

Los datos mostrados en la tabla 12 se pueden observar en la figura 76.

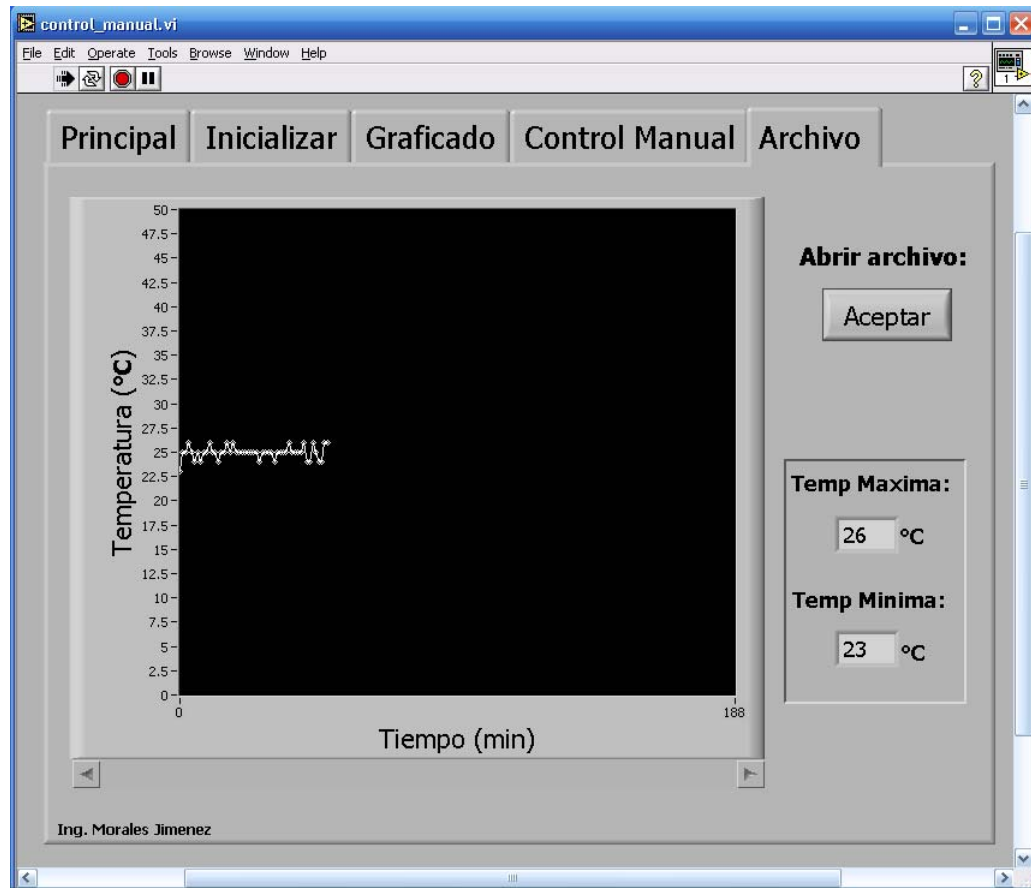


Figura 76. Datos de temperatura mostrados en la tabla 12.

Un segundo ejemplo es el archivo: sensor1_08-09-17_1033, esta prueba se realizó con un periodo de muestreo de 1 minuto en un día cálido. La figura 77 muestra los datos almacenados.

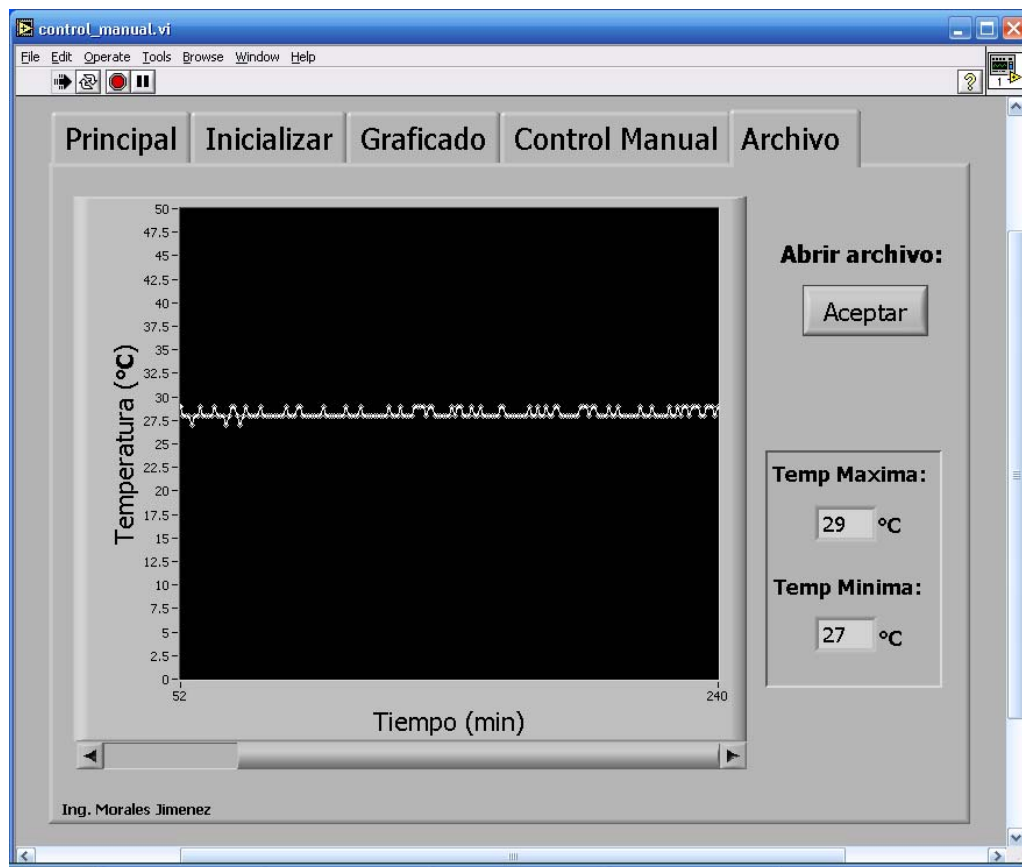


Figura 77. Datos de temperatura obtenidos en un día cálido.

Un ejemplo más, es la prueba que se realizó durante una noche con un periodo de muestreo de 1 minuto, los datos se almacenaron en el archivo: sensor1_08-10-22_1028. En la figura 78 se pueden observar los datos.

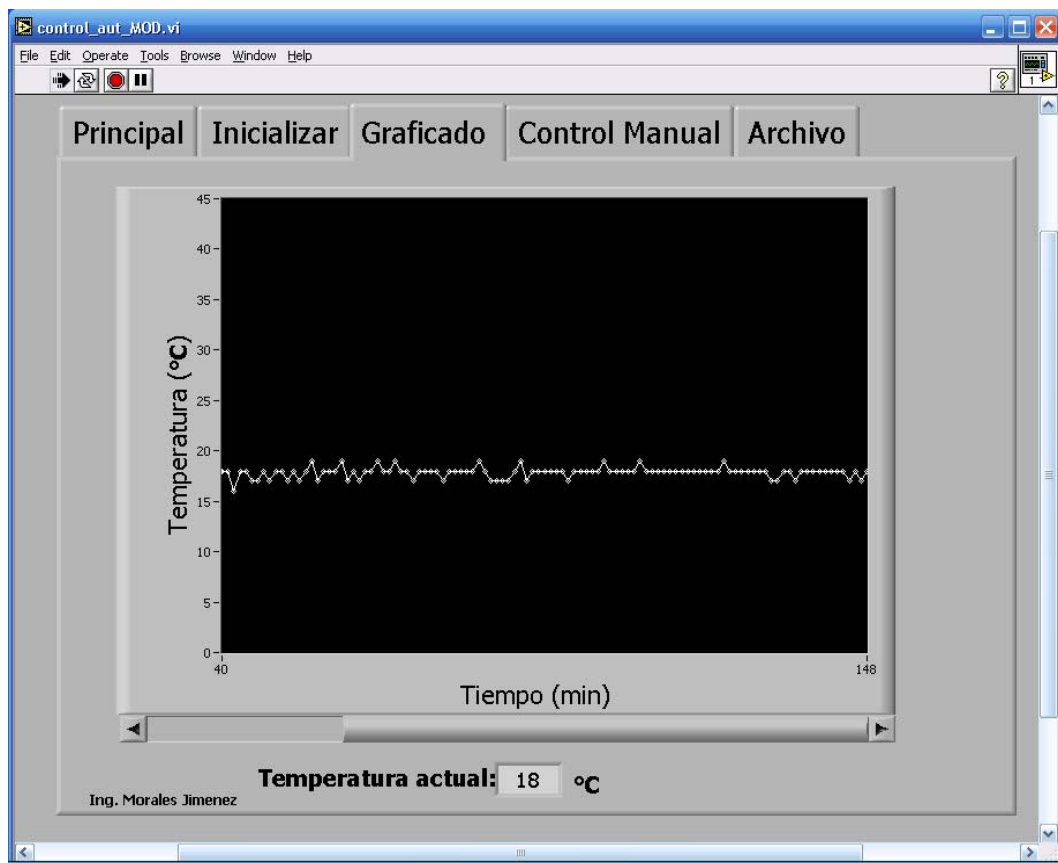


Figura 78. Datos de temperatura obtenidos en un clima frio.

La última prueba que se realizó fue durante un día completo, es decir con una medición durante 24 horas con un periodo de muestreo de 1 minuto, los datos se almacenaron en el archivo: sensor1_08-11-20_0633. La figura 79 muestra el comportamiento de esta gráfica.

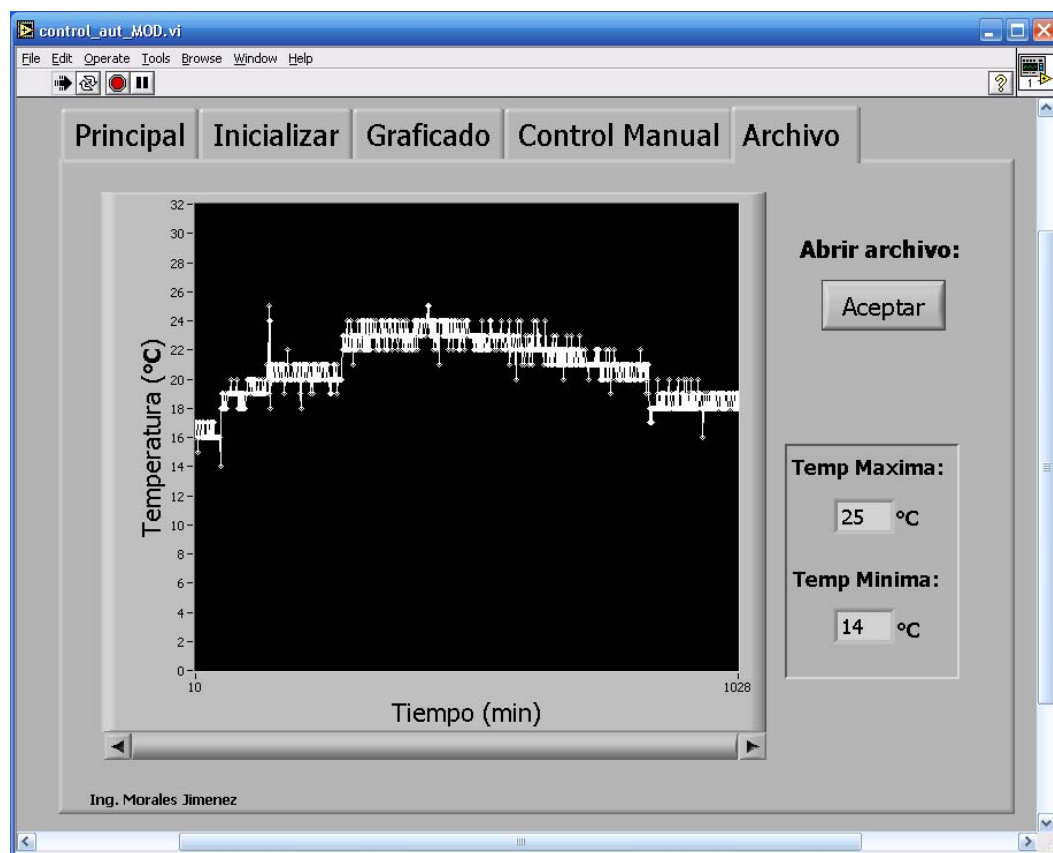


Figura 78. Datos de temperatura obtenidos en 24 horas.

CAPÍTULO VII.

VII.1.- CONCLUSIONES.

Este proyecto se ha enfocado al diseño de un software, al desarrollo de un circuito transceiver con comunicación inalámbrica y el diseño de un protocolo propietario aplicado a un invernadero. La finalidad de dicho sistema de supervisión es mantener un microclima dentro de un invernadero.

Al haber empleado una computadora personal se logró una interfaz de comunicación en serie y paralelo para el procesamiento de datos digitales. El programa utilizado fue Labview, el cual proporcionó las herramientas necesarias para el desarrollo del software.

El diseño y construcción del circuito transceiver inalámbrico redujo considerablemente el uso de cableado, a su vez, se reflejó en el costo del producto final.

Por otra parte, se desarrolló un protocolo propietario que brindó una comunicación óptima entre el transceiver de la computadora y el transceiver ubicado dentro del invernadero.

El sistema de supervisión se diseñó para procesar la información proveniente de un sensor de temperatura, pero la circuitería del transceiver está diseñada para la integración de más sensores con comunicación inalámbrica en los canales disponibles en la banda de 900 MHz.

El software desarrollado permite mantener de manera automática una temperatura adecuada para el cultivo del invernadero, además en cualquier momento el usuario es capaz de realizar acciones de control de la temperatura de forma manual.

VII.2.- APORTACIONES.

Se desarrolló un software para monitorizar la temperatura en un invernadero, el cual es capaz de graficar y almacenar datos y esos datos pueden ser recuperados y mostrados en cualquier momento.

Se diseñó y construyó un circuito transceiver para mantener la comunicación inalámbrica entre el invernadero y la computadora a una frecuencia libre en la banda UHF (Ultra High Frequency) a 900 MHz y con un radio de cobertura de 300 metros aproximadamente.

Se desarrolló un protocolo propietario, con la finalidad de que el diseñador tenga control total sobre la forma de transmitir y recibir información digital.

El desarrollo del software presentado controla un microclima dentro de un invernadero empleando un protocolo propietario, pero no se limita solo a controlar un invernadero, ya que la comunicación establecida entre el transceiver de la computadora y el transceiver ubicado dentro del invernadero se puede implementar en alguna otra aplicación, ya que la base es el haber establecido la comunicación entre un transmisor y un receptor inalámbricamente.

VII.3.- TRABAJOS A FUTURO.

El software presentado mantiene el monitoreo sobre un invernadero, una mejora es, expandir el sistema para mantener el monitoreo sobre más de un invernadero ubicados alrededor de la cabina.

Se desarrolló un protocolo propietario, pero éste se puede mejorar al incorporar un sistema para detección y corrección de errores, así como incrementar el tamaño del código de verificación para disminuir la probabilidad de error.

Otro punto a mejorar es el radio de cobertura, que el sistema sea capaz de mantener el monitoreo sobre invernaderos a más de 300 metros.

Además se pueden agregar más sensores de temperatura así como también incorporar el uso de sensores de humedad, radiación solar, fertilización, etc.

Por otra parte, se pueden realizar modificaciones a futuro conforme a las necesidades de la empresa, debido a que se tiene la ventaja que es un sistema modular.

También se puede incorporar alguna técnica de encriptamiento a los datos para brindar mayor privacidad a la información enviada a través del canal público, que en este caso es el aire.

CAPÍTULO VIII.

VIII.1 BIBLIOGRAFIA.

- **Huidobro José Manuel**, “*Fundamentos de Telecomunicaciones*”, Paraninfo, 2001.
- **Nesimi Erturul**, “*Labview for Electric circuits, machines, drivers and laboratories*”, Prentice Hall, 2002.
- **Lázaro Antonio Manuel**, “*LabVIEW 6i: Programación gráfica para el control de instrumentación*”, Prentice Hall, 2001.
- **Pérez Herrera Enrique**, “*Introducción a las telecomunicaciones modernas*”, Limusa, 2001.
- **Tomasi Wayne**, “*Sistema de Comunicaciones Electrónicas*”, Prentice Hall, 2003.
- **Palacios Enrique, Remiro Fernando, J. López Lucas**, “*Microcontrolador PIC16F84*”, Alfaomega, 2006.
- **Angulo Usategui José Ma., Romero Yesa Susana, Angulo Martínez Ignacio**, “*Microcontroladores PIC, Diseño práctico de aplicaciones*”, 2000.
- **Sánchez Allende Jesús, López Lérida Joaquín**, “*Redes*”, Mc Graw Hill, 2000.
- **Castilla y Cols.** 1997. *Alternative asymmetrical greenhouses for the mediterranean area of Spain*. Acta Horticulturae, (en prensa).
- **Ogayar Blas Fernández y López Valdiria Andrés**, “*Teoría de circuitos con Orcad PSpice*”, Alfaomega, 2001.
- **Morris M. Mano**, “*Arquitectura de Computadoras*”, Pearson Educación, 1994.
- **Martínez Durá Rafael J., Boluda Grau José A., Pérez Solano Juan J.**, “*Estructura de Computadoras y Periféricos*”, Alfaomega, 2001.

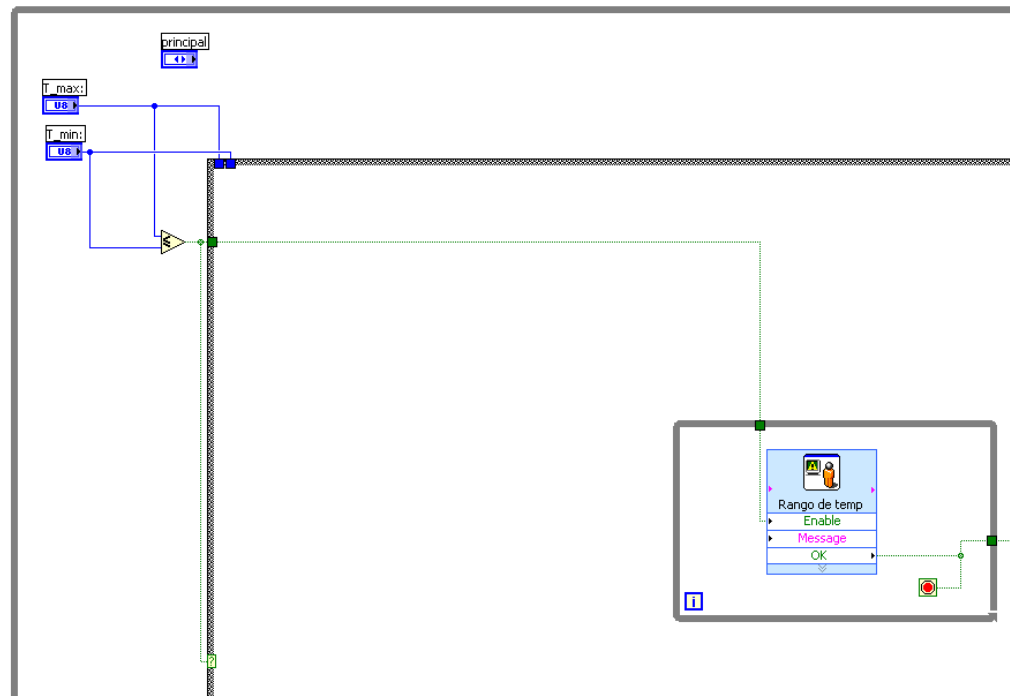
- **W. León Couch**, “*Sistema de comunicaciones Digitales y analógicos*”, Prentice Hall, 1998.
- **Stallings William**, “*Comunicaciones y redes de computadoras*”, Prentice Hall, 2000.
- **Frenzel**, “*Electrónica Aplicada a los Sistemas de Comunicaciones*”, Alfaomega, 2003.
- **Tocci J. Ronald y Widmer S. Neal**, “*Sistemas Digitales y Aplicaciones*”, Prentice Hall, 2001.
- www.Netafim.com.au
- www.steelwayinvernaderos.com/
- www.fao.org/DOCREP/005/S8630S/s8630s02.htm
- Hojas de datos de los fabricantes (Maxim, Linkx, Texas instruments, Microchip):
 - MAX232
 - TXM-900-HP3
 - RXM-900-HP3
 - ANT-916-CW
 - SN74LS425

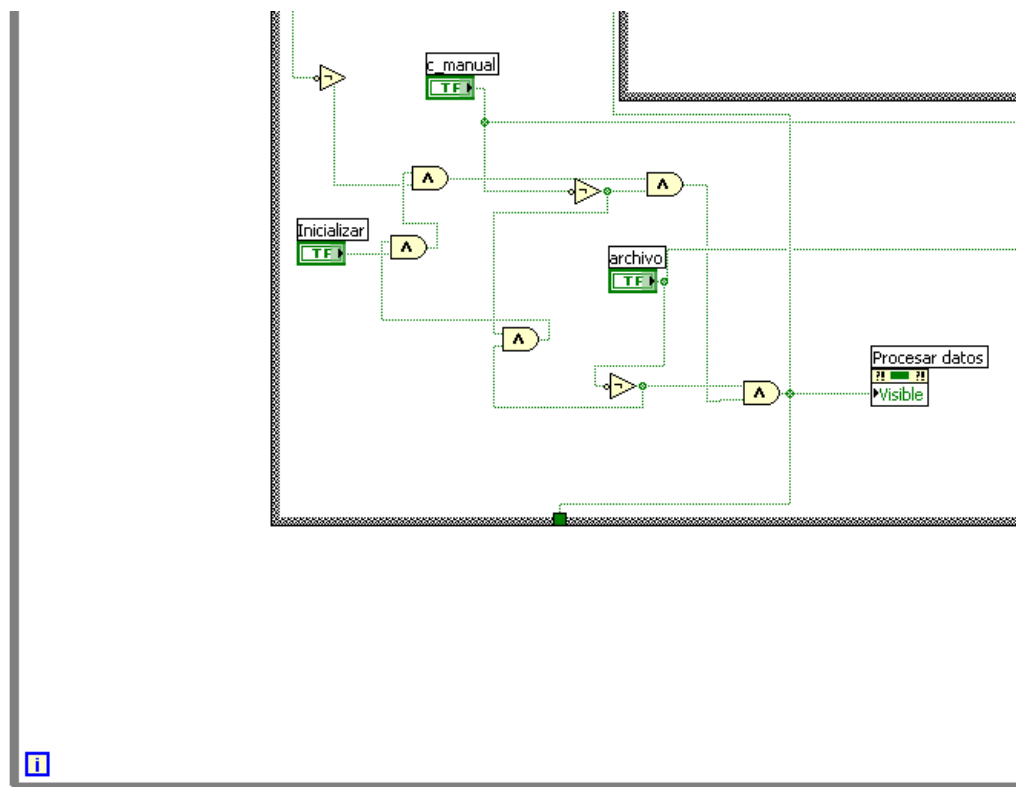
GLOSARIO

CA	Corriente Alterna.
PIB	Producto Interno Bruto.
CI	Circuito Integrado.
SIP	Single In Line Package.
FSK	Frecuency Shift Keying.
TTL	Transistor-Transistor Logic.
DC	Direct Current.
Kbps	Kilo bits por segundo.
PDN	Power Down.
MHz	Mega Hertz.
DIP	Dual In Line Package.
bps	Bits por segundo.
Byte	Grupo de 8 bits.
RF	Radio Frecuencia.
PCB	Printed Circuit Board.
EPROM	Erasable Programmable Read Only Memory.
LPT1	Line Print Terminal.
KHz	Kilo Hertz.
mA	mili Amper.
UHF	Ultra High Frecuency.
TX	Transmisor de datos.
RX	Receptor de datos.
RS – 232	Electronic Alliance Industries.
ASCII	American Standard for Information Interchange.
ISO	International Standard Organization.
OSI	Open systems for Interconnection.

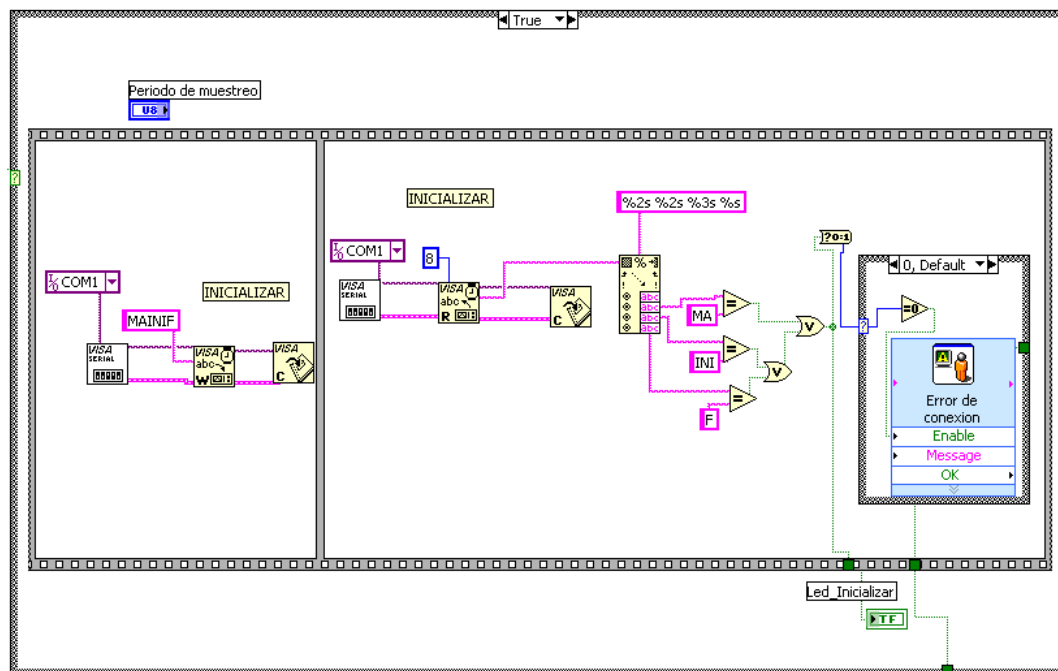
APÉNDICE

A. Selección de temperatura máxima y mínima.

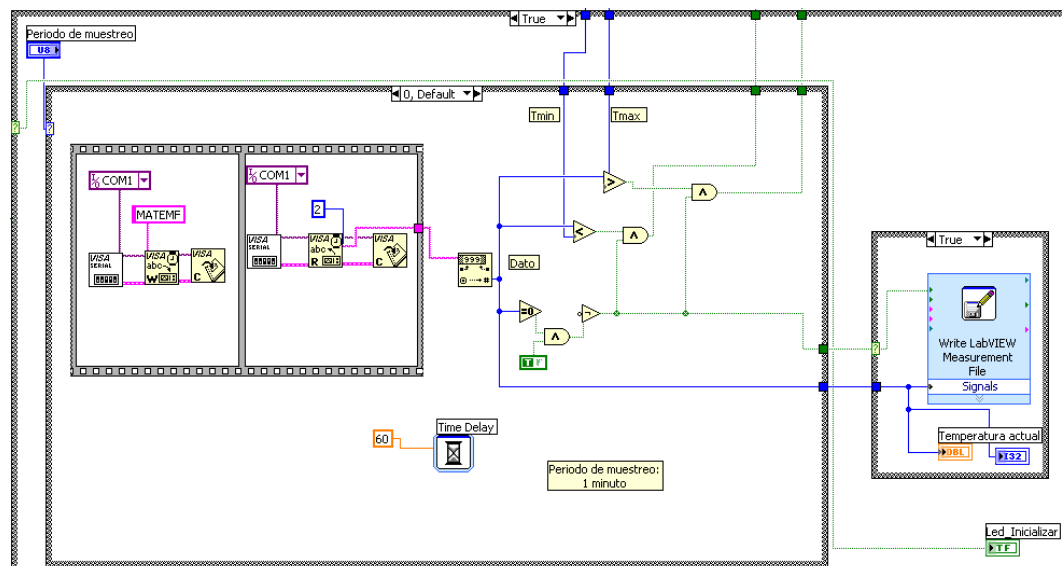


B. Selección para control manual o automático.

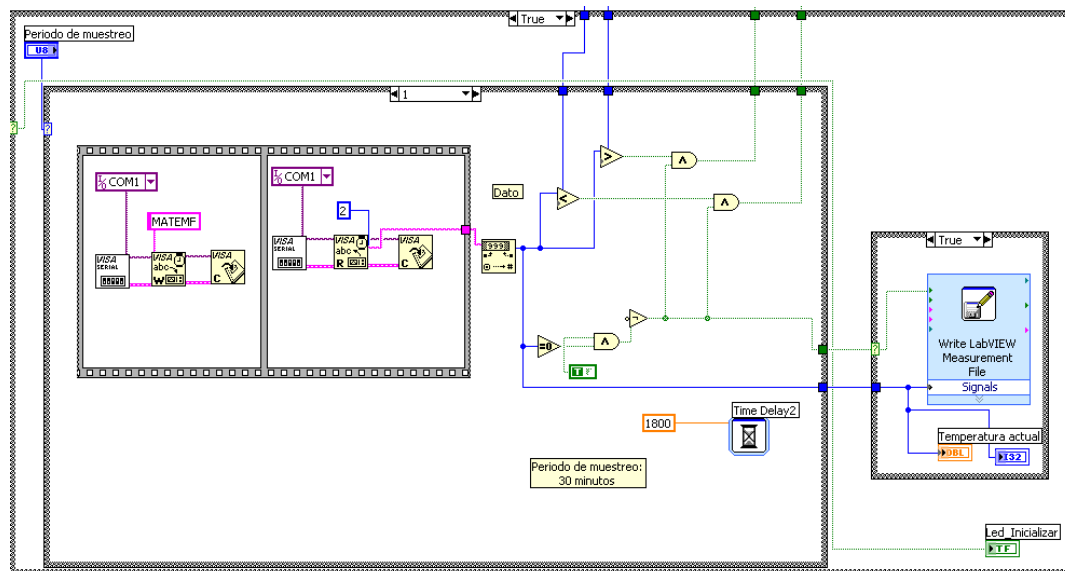
C. Inicialización del sistema.



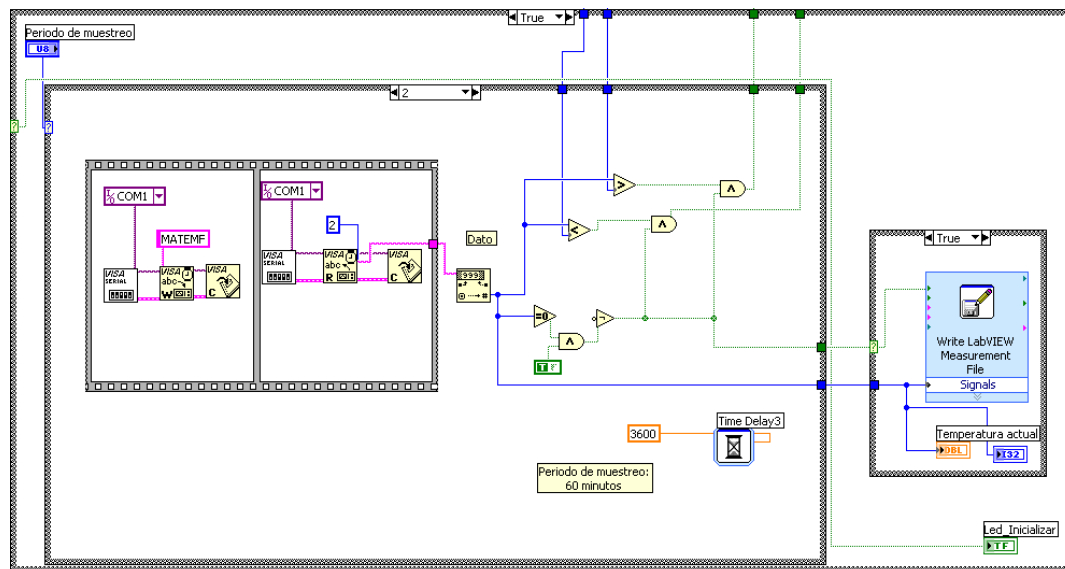
D Período de muestreo de 1 minuto.



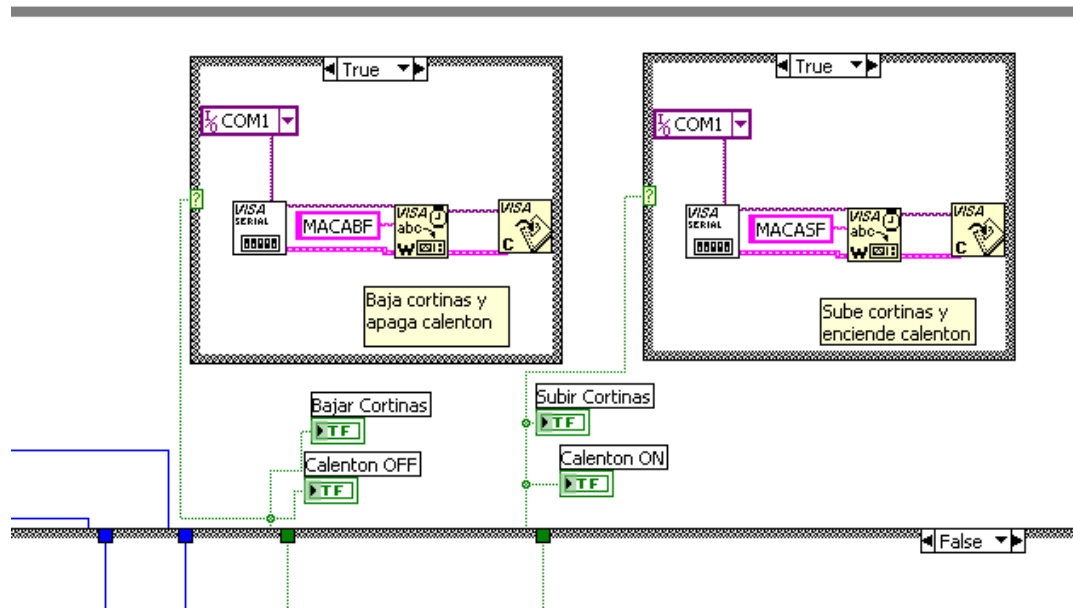
E. Periodo de muestreo de 30 minutos.



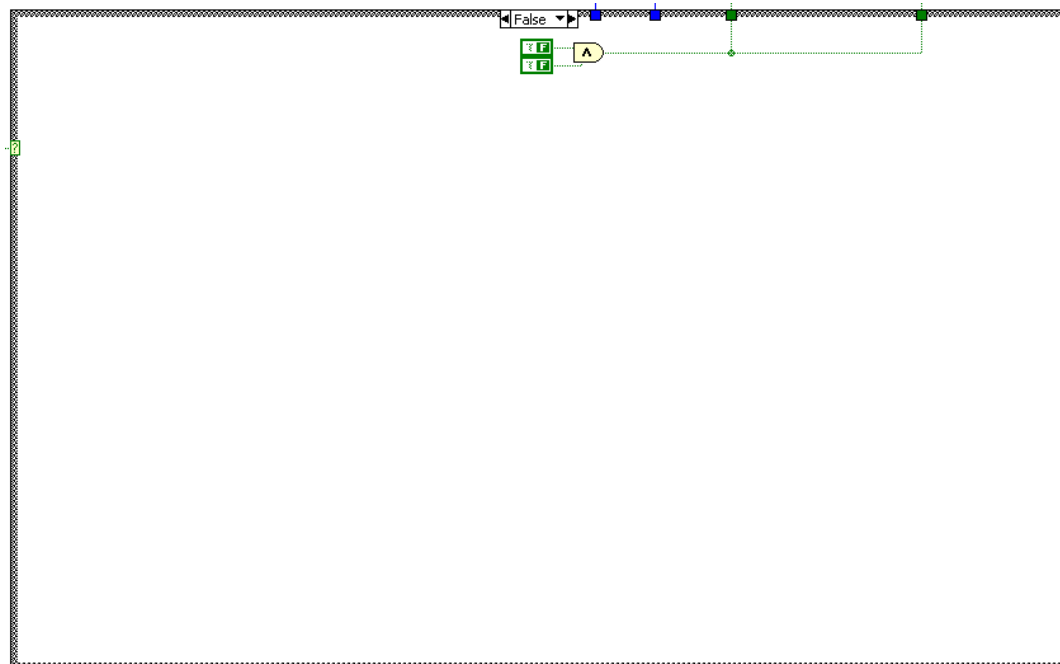
F. Periodo de muestreo de 60 minutos.



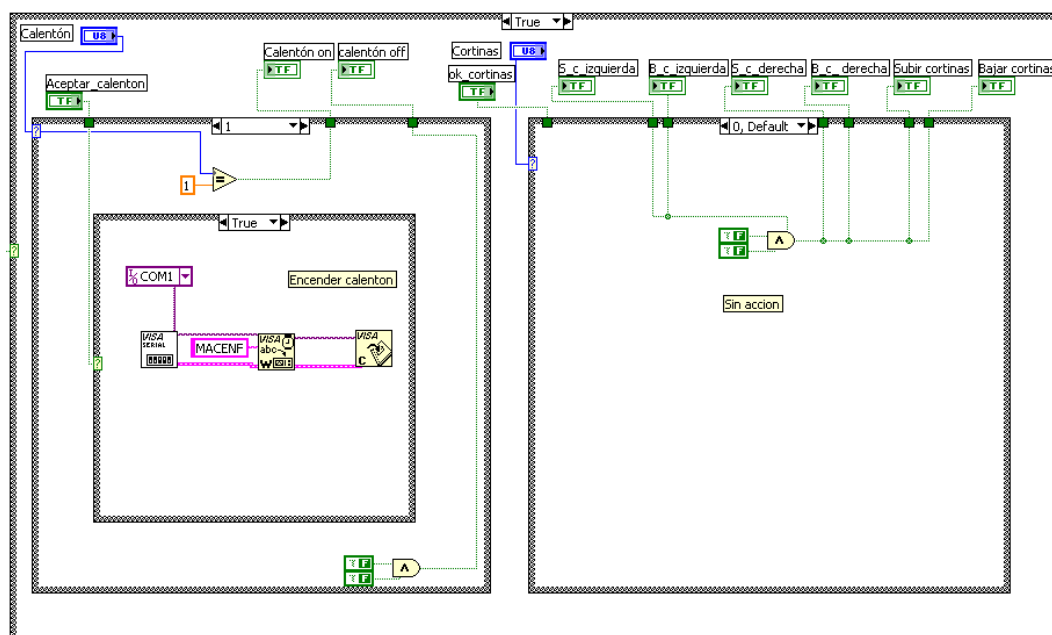
G. Controlando temperatura máxima y mínima.



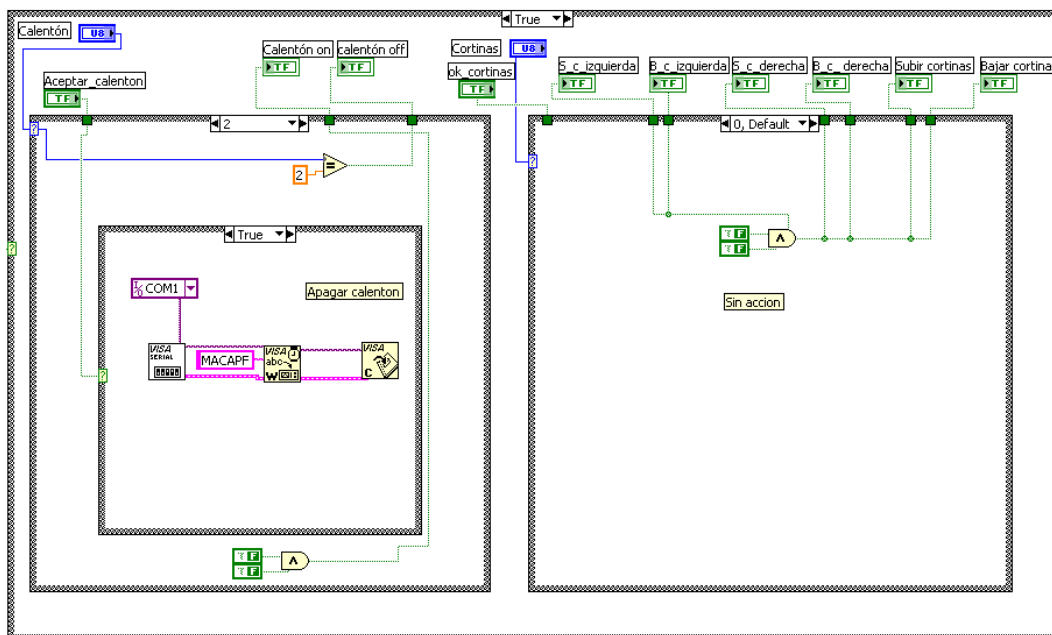
H. Sin acción en control de temperatura.



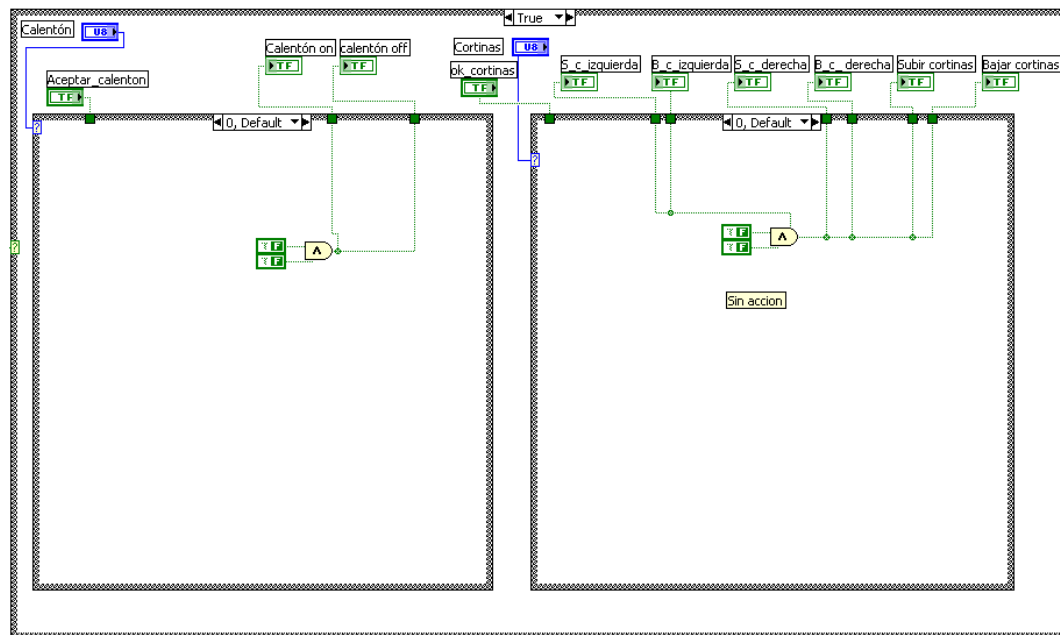
I. Control manual para encender calentón.



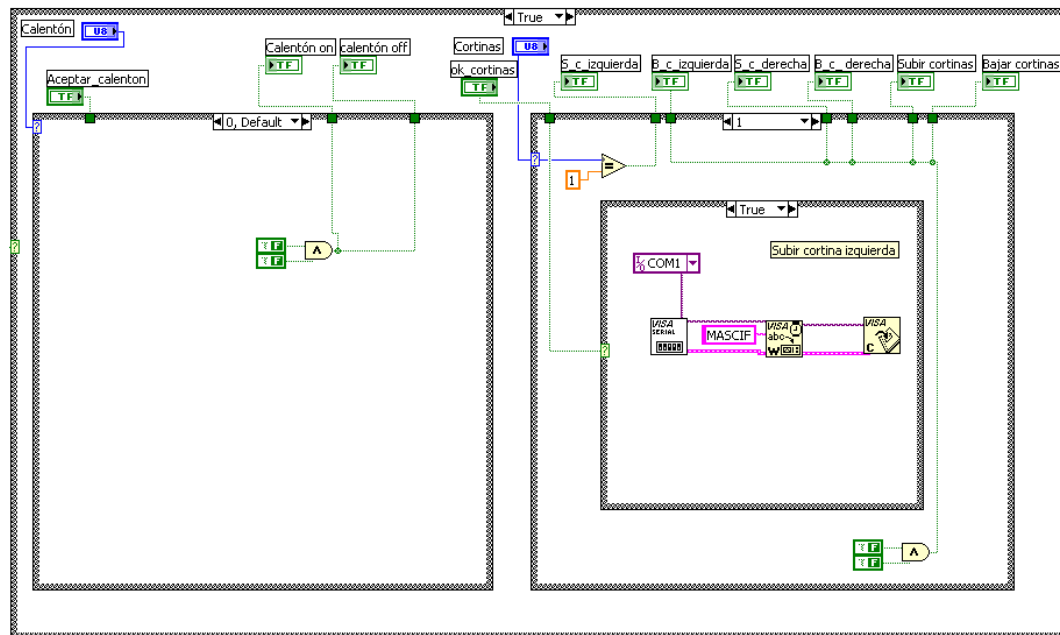
J. Control manual para apagar calentón.



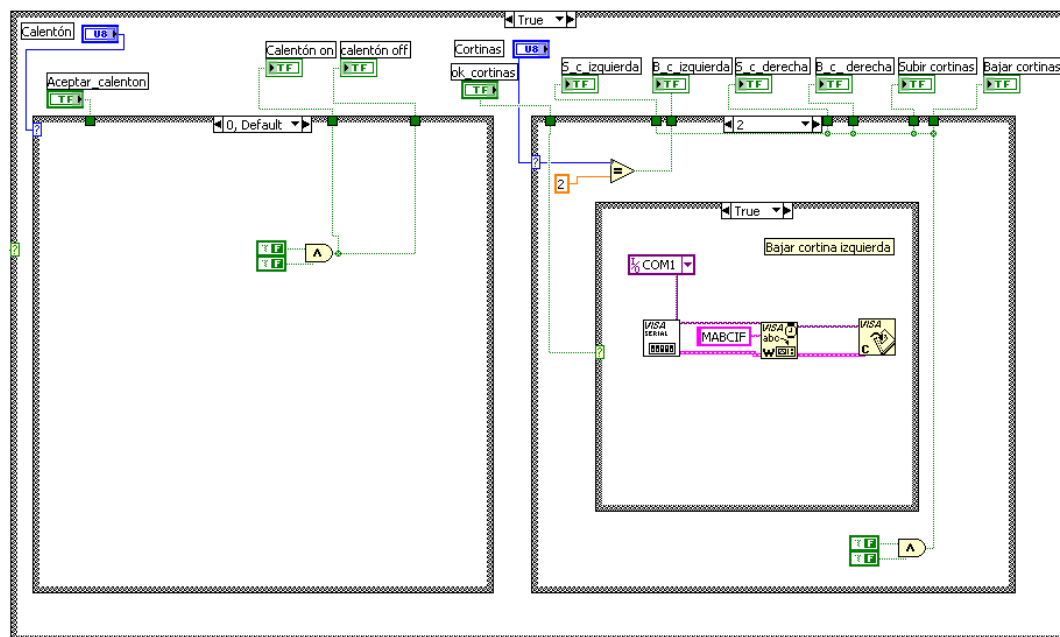
K. Sin acción en control manual.



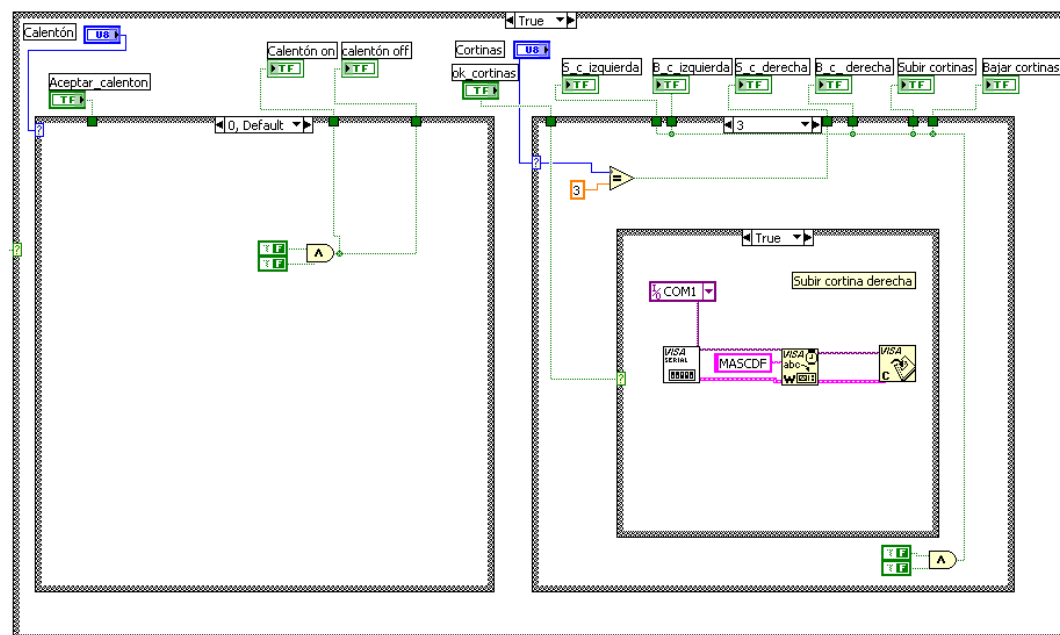
L. Subir cortina izquierda.



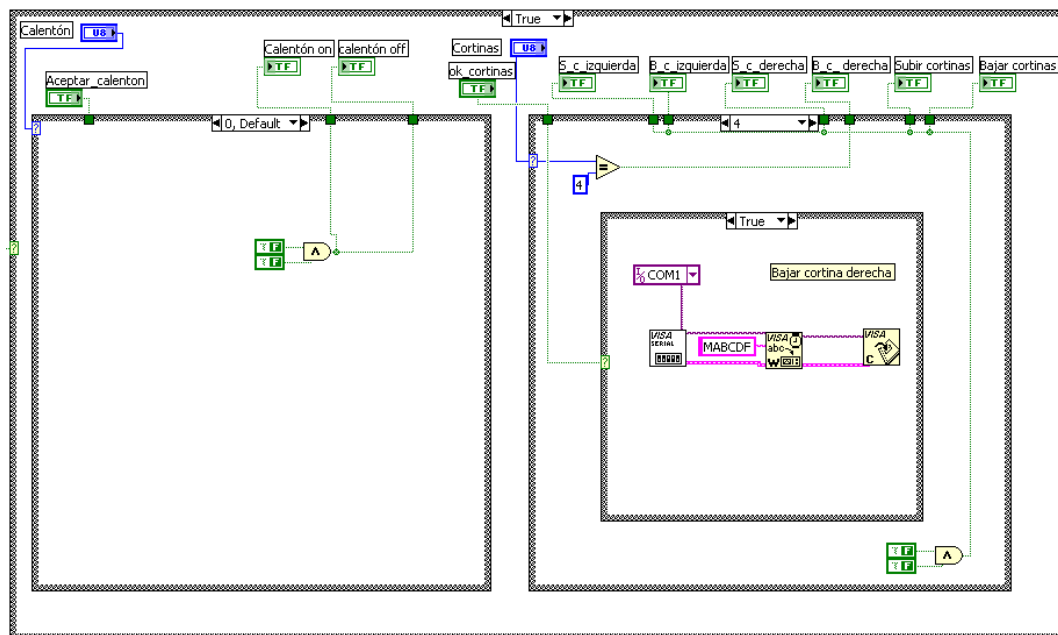
M. Bajar cortina izquierda.



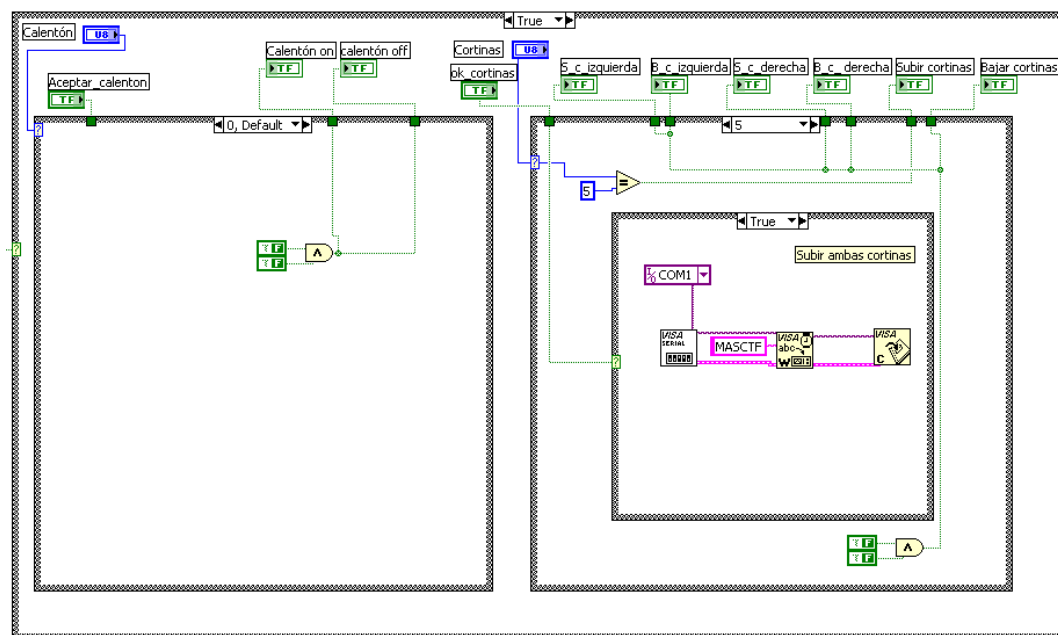
N. Subir cortina derecha.



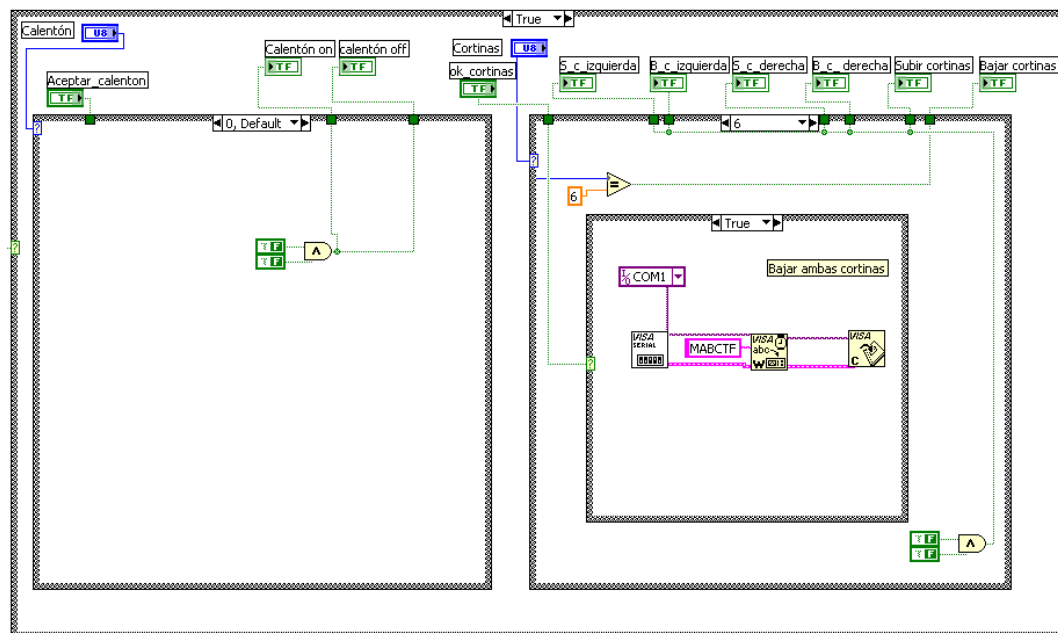
O. Bajar cortina derecha.



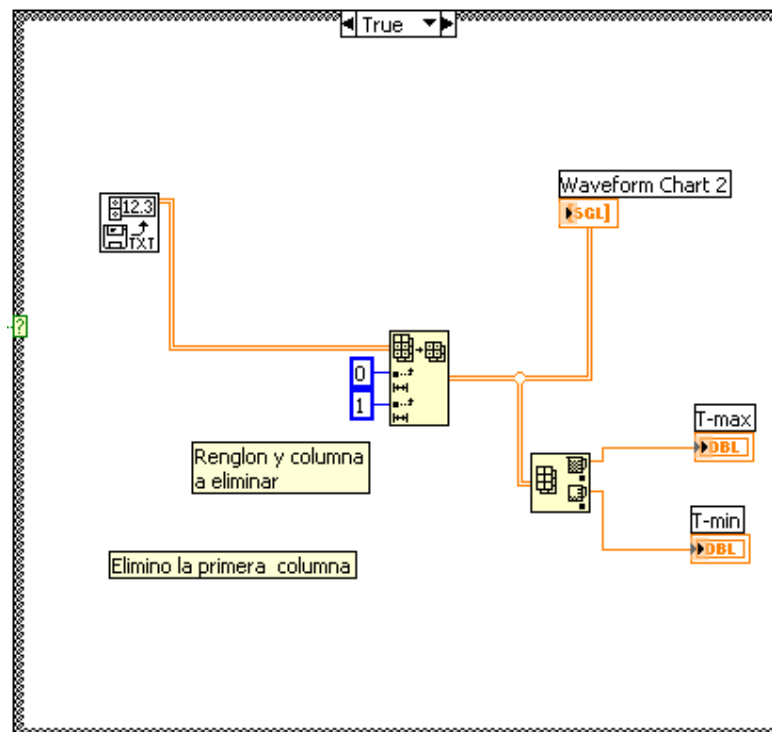
P. Subir ambas cortinas.



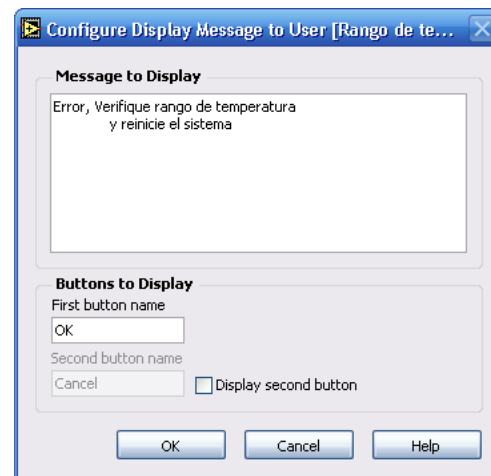
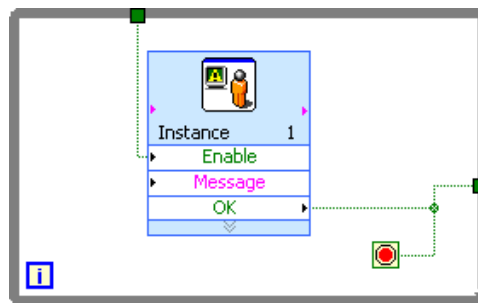
Q. Bajar ambas cortinas.



R. Abrir archivo.



S. Error en rango de temperatura.



T. Error de conexión.

