

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA**



**ESTUDIO Y ANALISIS DE SISTEMA DE  
INSTRUMENTACION DE TEMPERATURA UTILIZADOS  
EN LA AUTOMATIZACION DE LOS INVERNADEROS DEL  
CENTRO INTERNACIONAL DE LA PAPA**

**INFORME DE SUFICIENCIA**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:**

**INGENIERO ELECTRÓNICO**

**PRESENTADO POR:**

**RAUL MARIANO ORUE CUADROS**

**PROMOCIÓN  
1996 - I**

**LIMA – PERÚ  
2011**

**ESTUDIO Y ANALISIS DE SISTEMA DE INSTRUMENTACION DE  
TEMPERATURA UTILIZADOS EN LA AUTOMATIZACION DE LOS  
INVERNADEROS DEL CENTRO INTERNACIONAL DE LA PAPA**

Dedicado con amor y agradecimiento  
A mis padres: Paulina y Francisco  
A mi esposa: Giovanna  
A mis hijos: Alejandra, Mariano y Adriana

## SUMARIO

Los cultivos modificados genéticamente se vienen aplicando en varios países desde hace más de una década, con resultados beneficiosos, tales como el menor uso de plaguicidas químicos, mejores prácticas de labranza y mayor rentabilidad para los agricultores. En el Perú, algunas entidades científicas como el Centro Internacional de la Papa (CIP), viene realizando investigación en Biotecnología e Ingeniería Genética para la transformación de plantas con fines de mejoramiento genéticos y sanitarios.

Las plantas transgénicas (modificadas genéticamente) son producidas en el laboratorio. Su posterior propagación y multiplicación ocurre tanto in vitro (laboratorio) como bajo condiciones de invernadero. Esto incluye el aislamiento físico de las plantas transgénicas en tubos de ensayo o invernadero para su caracterización morfológica y molecular. Es en esta parte donde la tecnología de invernaderos desarrolla un papel importante dentro del proceso de investigación.

El presente informe proveerá de un estudio actualizado de la tecnología de invernaderos, especialmente en lo referente a la instrumentación electrónica empleada para el control de microclimas. Para este propósito, se describirá la aplicación de la instrumentación automatizada en los invernaderos de investigación del CIP para el control de temperatura, que es el factor climático que más influye en el crecimiento y desarrollo de las plantas, proporcionando junto con la humedad las condiciones para dichos procesos fisiológicos. Finalmente se presentan alternativas para mejorar la eficiencia del sistema, considerándose la interconexión de los sistemas de control, la centralización de la información por medio de la red LAN, monitoreo y alertas, así como el acceso vía Internet.

## ÍNDICE

### PRÓLOGO

### CAPÍTULO I

#### PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1	Antecedentes.....	2
1.2	Descripción del problema.....	3
1.3	Objetivo del informe.....	3
1.4	Limitaciones del informe.....	3
1.5	Reseña del Centro Internacional de la Papa.....	4
1.5.1	Introducción.....	4
1.5.2	Grupo Consultivo sobre Investigaciones Agrícolas Internacionales (CGIAR).....	4
1.5.3	Centro Internacional de la Papa (CIP).....	5
1.5.4	Biotecnología en el CIP.....	6

### CAPÍTULO II

#### MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL

2.1	Tecnología de invernaderos.....	8
2.1.1	Introducción.....	8
2.1.2	Diseño de un invernadero.....	8
2.1.3	Microclima de un invernadero.....	9
2.2	Automatización de invernaderos.....	13
2.3	Instrumentación en los invernaderos.....	14
2.4	Sensores de temperatura.....	14
2.4.1	Termopar (termocupla).....	15
2.4.2	RTD (termorresistencia).....	17
2.4.3	Termistor.....	19
2.4.4	Sensores integrados.....	21
2.5	Acondicionamiento de señal.....	23
2.5.1	Configuración de medida.....	24
2.5.2	Amplificación.....	27

2.6	Controladores.....	28
2.7	Sistemas de adquisición de datos.....	30
2.8	Protocolos de comunicación para la adquisición de datos.....	32
2.8.1	Comunicación en paralelo.....	32
2.8.2	Comunicación serial.....	33
2.9	Sistemas de control.....	33
2.10	Técnicas de control.....	34
2.11	Niveles de conexión del sistema de control automatizado.....	35

### **CAPÍTULO III**

#### **INVERNADEROS DE INVESTIGACION DEL CIP**

3.1	Introducción.....	37
3.2	Tipos de invernaderos en el CIP.....	37
3.3	Descripción del invernadero de Bioseguridad.....	39
3.3.1	Nivel de entrada/salida.....	39
3.3.2	Nivel de campo y proceso.....	41
3.3.3	Nivel de control.....	42
3.3.4	Nivel de gestión.....	43
3.4	Análisis del sistema de control.....	44

### **CAPÍTULO IV**

#### **AUTOMATIZACION DE LOS SISTEMAS DE CONTROL DE TEMPERATURA EN LOS INVERNADEROS DE INVESTIGACION DEL CIP**

4.1	Introducción.....	46
4.2	Solución y nivel de automatización propuesto.....	46
4.3	Proceso de automatización.....	48
4.3.1	Nivel de entrada/salida.....	48
4.3.2	Nivel de campo y proceso.....	51
4.3.3	Nivel de control.....	56
4.3.4	Nivel de gestión.....	59
4.4	Descripción del esquema general de conexión.....	59
4.5	Análisis de resultados.....	62

	<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>	<b>65</b>
--	--	-----------

#### **ANEXO A**

	<b>Proceso de producción de las plantas transgénicas.....</b>	<b>67</b>
--	---	-----------

#### **ANEXO B**

	<b>Esquema eléctrico del circuito de control.....</b>	<b>69</b>
--	---	-----------

<b>ANEXO C</b>	
<b>Manual de controlador digital de temperatura y humedad</b>	
<b>Manual de convertidor Serial / Ethernet.....</b>	<b>71</b>
<b>ANEXO D</b>	
<b>Software de control y monitoreo.....</b>	<b>77</b>
<b>ANEXO E</b>	
<b>Esquema general de conexión.....</b>	<b>80</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>83</b>

## PROLOGO

El presente informe desarrolla un estudio y análisis de sistemas de instrumentación de temperatura utilizados en la automatización de un invernadero de investigación. A partir de este proceso de automatización, es posible implementar sistemas de control, los cuales permitirán aumentar la eficiencia de la productividad y de los recursos energéticos de los invernaderos.

La parte teórica de este informe se ha basado en la investigación y análisis de la situación actual de la tecnología de invernaderos, especialmente de la instrumentación electrónica para la variable de temperatura, incluyendo información sobre los tipos de invernaderos existentes y las consideraciones para su construcción, las características de los parámetros para el control de microclimas en los invernaderos (temperatura, humedad, iluminación y concentración de CO<sub>2</sub>), así como la instrumentación electrónica usada en los invernaderos (sensores, sistemas de adquisición de datos, controladores, actuadores, protocolo de comunicación, red de datos y software de monitoreo).

En tanto que la parte práctica se ha enfocado en la aplicación de la instrumentación automatizada en los invernaderos de investigación del "Centro Internacional de la Papa", especialmente para el control de temperatura, detallando su funcionamiento y describiendo las instalaciones y facilidades con las que actualmente cuenta la organización.

Finalmente el informe detalla el proceso de automatización de los invernaderos, considerándose la interconexión de los sistemas de control, la centralización de la información por medio de la red LAN, monitoreo y alertas, así como el acceso vía Internet, describiéndose el hardware y software, así como las configuraciones necesarias para la inclusión de la instrumentación de temperatura en el sistema de automatización.

# CAPÍTULO I

## PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

### 1.1 Antecedentes

Desde el inicio de la agricultura, el hombre se ha preocupado por mejorar los cultivos con la finalidad de obtener variedades más productivas y resistentes a las enfermedades que las atacan. Con el desarrollo de las técnicas de transformación de plantas, se impulsó el mejoramiento de los cultivos de importancia agrícola. A diferencia de la metodología clásica, se ofrece una alternativa rápida para introducir genes foráneos en plantas.

Actualmente, la Biotecnología se utiliza para el mejoramiento genético de plantas no sólo con fines agrícolas y nutricionales, sino también para obtener plantas con mejores características morfológicas (ornamentales) y/o como fábrica de productos de interés industrial, farmacéutico, químico, entre otros. Para este propósito, las entidades de investigación producen plantas transgénicas en el laboratorio para posteriormente aislarlas en tubos de ensayo o invernaderos, realizando los experimentos y estudios necesarios para su caracterización morfológica y molecular.

El uso de invernaderos automatizados adquiere relevancia en esta etapa de la investigación científica, por lo que la tecnología de automatización es de gran importancia dentro del invernadero para mantener los factores climáticos en su estado ideal, ya que una variación de estos factores fuera del rango permitido afectará severamente los resultados de un experimento determinado. La realización de esta automatización requiere de la instalación de un control climático, que será el encargado de gestionar cada uno de los actuadores según la situación actual y deseada de las condiciones climáticas del invernadero.

El control climático en invernaderos es posible gracias al uso de sensores capaces de medir diferentes variables climáticas: temperatura, humedad, radiación solar, concentración de CO<sub>2</sub>, etc. Cada medida debe ser registrada y manejada a través de un controlador, de forma que el propio usuario pueda verificar y modificar las consignas según las condiciones climáticas requeridas en cada momento.

## **1.2 Descripción del problema**

El Centro Internacional de la Papa (CIP) cuenta con invernaderos de investigación y otros ambientes (por ejemplo: cámaras de frío, cámaras de calor, etc), los cuales requieren de un sistema de control climático automatizado. Para ello, se utilizan diversos sistemas de control tanto manual como semi-automatizado, los cuales difieren tanto a nivel de hardware como software; se necesita la uniformización de dichos sistemas de control, para un mejor manejo y compatibilidad general, así como la elevación de los niveles de automatización. Para lograr esos objetivos, se requiere definir los criterios y recomendaciones a seguir para lograr la automatización del control de temperatura en los invernaderos del CIP.

## **1.3 Objetivo del informe**

Realizar un estudio y análisis de sistemas de instrumentación de temperatura utilizados en la automatización de un invernadero. En este informe se realizará el estudio de la situación actual de la tecnología de invernaderos, especialmente de la instrumentación electrónica para la variable de temperatura, así como su aplicación en los invernaderos de investigación del Centro Internacional de la Papa. Adicionalmente se presentarán alternativas para mejorar la eficiencia del sistema, considerándose la interconexión de los sistemas de control, la centralización de la información por medio de la red LAN, monitoreo y alertas, así como el acceso vía Internet.

## **1.4 Limitaciones del informe**

Las principales limitaciones del informe son las siguientes:

- a) Los invernaderos comerciales se han venido automatizando con sistemas a base de controladores lógicos programables (PLC) muy sofisticados y costosos, donde se depende de personal muy calificado para el proceso de mantenimiento o reparación. Por ello se hace el análisis de otras alternativas fuera de lo tradicional, con la finalidad de proporcionar una solución de automatización económica y accesible.
- b) Solamente se analiza la variable de temperatura, dado que es la variable más importante dentro de los experimentos de investigación.
- c) El estudio solo incluye los sensores y controladores, ya que los actuadores son equipos que se adaptarán al control deseado sin tener mayor relevancia en la solución final.
- d) Se determinará qué tipos de productos son los que tienen el balance en calidad y costo, mencionándose como referencia los requerimientos de hardware y software para la implementación de la solución.

## 1.5 Reseña del Centro Internacional de la Papa

### 1.5.1 Introducción

Las crisis desencadenadas por la volatilidad de los precios de los alimentos y la energía, las perturbaciones de la economía y la preocupación acerca del cambio climático, han generado una nueva era de desafíos y oportunidades para la agricultura y la gestión de los recursos naturales. Si bien afectan a toda la población, estas crisis a nivel mundial han tenido graves consecuencias para los aproximadamente 2.100 millones de personas que viven con menos de US\$2.00 diarios. Tres cuartas partes de esas personas viven en zonas rurales y dependen, en forma directa o indirecta, de la agricultura para sobrevivir.

El aumento de la inversión en las ciencias agrícolas es fundamental para encarar estos nuevos desafíos y lograr las innovaciones que permitan aumentar la productividad agrícola en forma sostenible, lo que redundará en beneficio de los pobres de las zonas rurales y ayuda a conservar recursos naturales, tales como el agua, los bosques y los recursos pesqueros.

### 1.5.2 Grupo Consultivo sobre Investigaciones Agrícolas Internacionales (CGIAR)

Creado en 1971, el Grupo Consultivo sobre Investigaciones Agrícolas Internacionales (Consultative Group on International Agricultural Research, CGIAR) es una alianza estratégica de diversos donantes que respaldan a 15 centros internacionales, los que trabajan en colaboración con centenares de organizaciones gubernamentales, de la sociedad civil y empresas privadas de todo el mundo. Trece de los Centros del CGIAR se encuentran en países en desarrollo, tal como se muestra en la Figura 1.1.

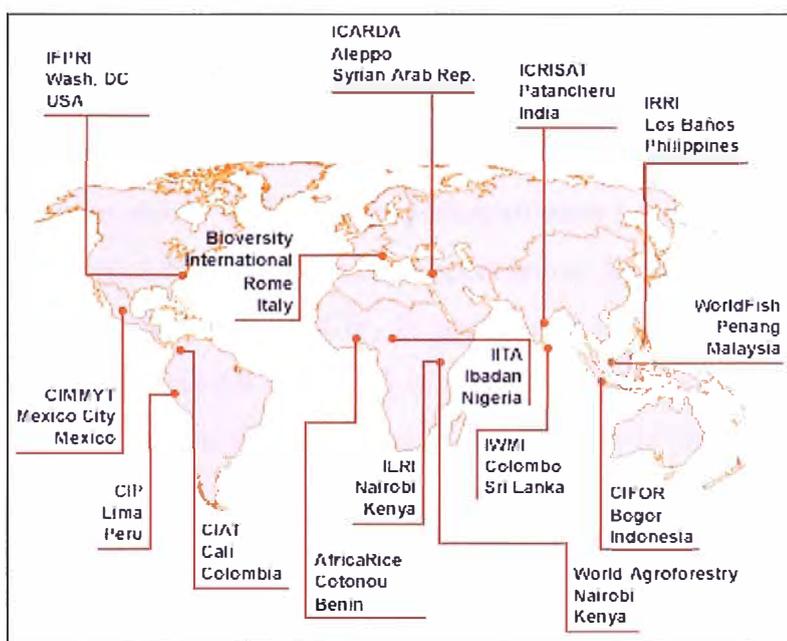


Figura 1.1. Ubicación geográfica de los Centros del CGIAR

Fuente: <http://www.cgiar.org/centers>

Orientado por su visión de contribuir a la reducción de la pobreza y del hambre, mejorar la salud y la nutrición humanas, así como aumentar la capacidad de adaptación de los ecosistemas a través de investigaciones agrícolas internacionales de alta calidad, el CGIAR aplica conocimientos científicos de punta para promover un crecimiento agrícola sostenible que beneficie a los pobres. Los centros apoyados por el CGIAR han generado importantes avances para reducir el hambre y aumentar los ingresos de los pequeños agricultores en los países en desarrollo. Sus investigaciones basadas en la colaboración contribuyen a aumentar la productividad agrícola y abordan diversas cuestiones relacionadas con la gestión del agua, la biodiversidad, los bosques, la pesca y la tierra.

### **1.5.3 Centro Internacional de la Papa (CIP)**

Uno de los 15 centros internacionales apoyados por el CGIAR es el Centro Internacional de la Papa (CIP), organización fundada en 1971 con el objetivo de desarrollar investigación científica y actividades relacionadas sobre papa, camote, raíces y tuberosas andinas, entregando soluciones sostenibles a los problemas apremiantes del mundo como el hambre, la pobreza y la degradación de los recursos naturales. El CIP es un centro mundial, con sede en Lima, Perú, y oficinas en 30 países en desarrollo de Asia, África y América Latina. Trabajando en estrecha colaboración con sus socios, el CIP tiene por objetivo lograr la seguridad alimentaria, el aumento del bienestar y la equidad de género para las personas pobres de los países en desarrollo. El CIP cuenta con tres estaciones experimentales, ubicadas en las regiones agroecológicas más importantes del Perú:

- La principal está en la costa, Lima (La Molina)
- La segunda está en la sierra, en Huancayo, a 3,200 msnm.
- La tercera está en la ceja de selva, en San Ramón, a 800 msnm.

La investigación en el CIP está dirigida principalmente hacia la producción de papas mejoradas que contribuyan en la solución de los problemas de hambre en el mundo. Según el departamento de investigación del CIP, la papa es el tercer cultivo alimenticio más importante del mundo después del arroz y el trigo, en términos de consumo humano. Más de mil millones de personas en todo el mundo come papa, y la producción mundial total del cultivo supera los 300 millones de TM. “La papa es un cultivo importante en términos de seguridad alimentaria, de cara al crecimiento de la población y las tasas de aumento del hambre. Por ejemplo, China, el mayor consumidor mundial de papas, espera que la totalidad del 50% de la producción de alimentos que tendrá que satisfacer en los próximos 20 años, vendrá de la papa”, señalan los especialistas.

#### 1.5.4 Biotecnología en el CIP

Según el Convenio sobre Diversidad Biológica de 1992, la biotecnología podría definirse como "toda aplicación tecnológica que utilice sistemas biológicos y organismos vivos o sus derivados para la creación o modificación de productos o procesos para usos específicos". Es decir, la biotecnología consiste simplemente en la utilización de microorganismos así como de células vegetales y animales para producir materiales tales como alimentos, medicamentos y productos químicos útiles a la humanidad.

Las aplicaciones de la biotecnología se clasifican como:

- Roja: aplicaciones en procesos médicos (antibióticos, vacunas y fármacos en general).
- Blanca: aplicaciones en procesos industriales para crear materiales biodegradables (productos químicos, plásticos biodegradables, biocombustibles).
- Verde: aplicaciones agrícolas (plantas transgénicas o alimentos en general).
- Azul: aplicaciones en ambientes marinos y acuáticos (cuidados sanitarios, cosmética y productos alimenticios).

La ingeniería genética es un tipo de biotecnología, utilizada para crear "organismos genéticamente modificados" (es decir, tomar un gen de un animal o planta y ponerlo en otro para obtener un producto mejorado). Aplicando la ingeniería genética a la agricultura se obtienen cultivos genéticamente modificados, cultivos cuyas propiedades han sido mejoradas; los considerables beneficios económicos, ambientales y sociales que ofrecen este tipo de cultivos han llevado a millones de agricultores de todo el mundo a seguir aumentando la superficie agro biotecnológica. La figura 1.2 muestra este crecimiento a nivel mundial, entre los años 1996 y 2010, registrándose un record de 148 millones de hectáreas plantadas por 15,4 millones de agricultores, en 29 países en el año 2010.

Este crecimiento convierte a los cultivos biotecnológicos en la tecnología que más rápida aceptación ha encontrado en la historia de la agricultura moderna, reflejando la confianza de millones de agricultores de todo el mundo que se han beneficiado de las múltiples ventajas de estos cultivos durante los últimos 15 años. La cifra de crecimiento mundial refleja una mayor estabilidad en la adopción de los cultivos genéticamente modificados, los cuales ya contribuyen a resolver algunos de los principales problemas que se plantean a la sociedad global, como la seguridad y la autosuficiencia alimentarias, la sostenibilidad, la lucha contra la pobreza y el hambre, y la mitigación de algunos de los retos asociados al cambio climático y al calentamiento global. [1]

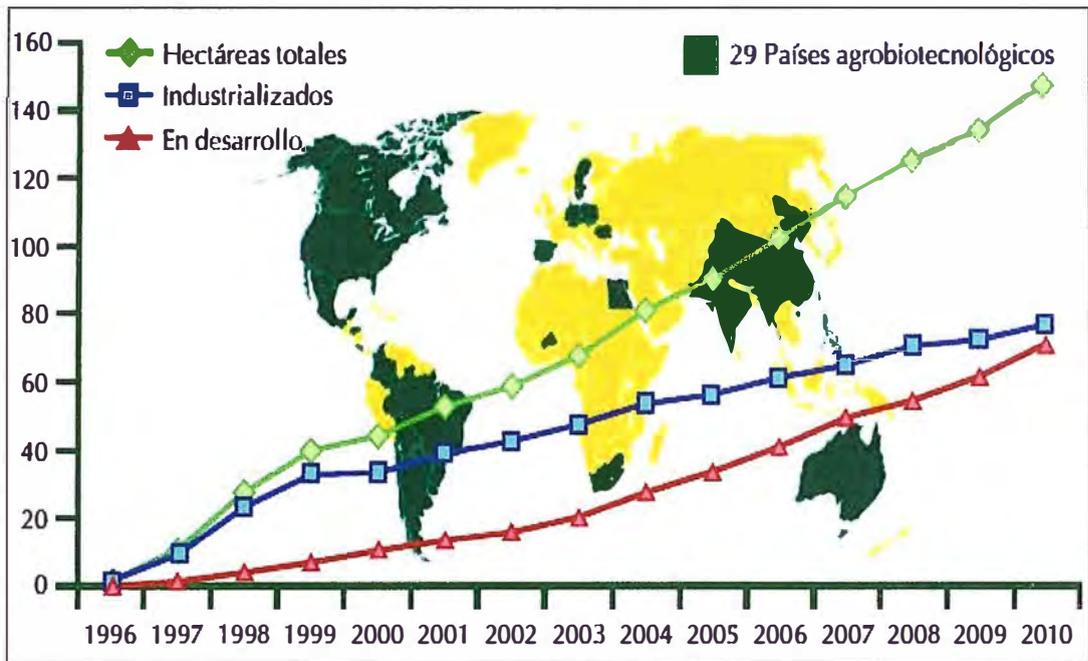


Figura 1.2. Superficie agro biotecnológica mundial (millones de hectáreas)  
 Fuente: <http://www.isaaa.org> (Situación mundial de la comercialización de cultivos biotecnológicos/MG en 2010, Clive James)

El CIP aplica la Biotecnología mediante técnicas de cultivo *in vitro* que junto con la transformación genética se han convertido en herramientas primordiales para incorporar y/o aumentar la resistencia natural a enfermedades y plagas en los cultivos de papa.

La ingeniería genética tiene un papel importante para mejorar la producción y la utilización de los cultivos en los países en desarrollo. Por ello, el CIP desde su fundación ha realizado avances importantes en el mejoramiento genético, no sólo de la planta de papa, sino también de otros cultivos andinos como el camote y recientemente en los cultivos denominados “raíces y tuberosas andinas”. Con este fin, constantemente se incorporan a la metodología empleada las técnicas que han ido apareciendo dentro de esta actividad científica, siguiendo un proceso de producción establecido. [2]

Las plantas transgénicas (genéticamente modificadas) son producidas en el laboratorio. Su posterior propagación y multiplicación ocurre tanto *in vitro* (laboratorio) como bajo condiciones de invernadero. Esto incluye el aislamiento físico de las plantas transgénicas en tubos de ensayo o invernadero para su caracterización morfológica y molecular. Es en esta parte donde la tecnología de invernaderos desarrolla un papel importante dentro del proceso de investigación (ver Anexo A).

Hasta aquí, se ha descrito el contexto dentro del cual se va a desarrollar el presente informe, destacando el tipo de organización y la importancia del proceso productivo del cual forma parte el tema de este informe: la automatización de invernaderos.

## **CAPÍTULO II**

### **MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL**

#### **2.1 Tecnología de invernaderos**

##### **2.1.1 Introducción**

Un invernadero es una estructura cubierta con material transparente, donde existe un control parcial o total de las condiciones ambientales para proveer las condiciones adecuadas para el desarrollo del cultivo. La cubierta tiene un efecto notable en el intercambio de energía, establece una barrera entre el medio ambiente externo y el cultivo, limitando un microclima que permite al agricultor controlar la temperatura, la humedad, la cantidad de luz y aplicar efectivamente control químico y biológico para proteger el cultivo.

Los invernaderos no automatizados necesitan personal para maniobrar ventiladores, ventanas y diferentes equipos, para poder mantener un clima específico; pero esto lleva a cometer errores que involucran problemas para la producción de las plantas, en este caso para la investigación desarrollada. Adicionalmente, otros invernaderos se han venido automatizando con sistemas a base de PLC, muy sofisticados y costosos para poder realizar las funciones antes mencionadas, dependiendo de personal muy calificado para realizar alguna revisión por mantenimiento o fallas. Debido a estos errores y costos, es necesario buscar otras alternativas de automatización más económicas y accesibles.

##### **2.1.2 Diseño de un invernadero**

Un invernadero debe ser construido para mantener un clima apropiado para la planta, teniendo la resistencia estructural adecuada, una alta transmisión de luz, un bajo consumo de calor, eficiencia de ventilación, bajos costos de construcción y operación, siendo dos de las principales consideraciones en su diseño: la estructura y el material de la cubierta.

###### **a. Estructura**

La forma de la estructura del invernadero influye en la temperatura, humedad, transmisión de luz y movimiento de aire interior. Existen diversas formas de estructuras para la fabricación de invernaderos, las más utilizadas se muestran en la Figura 2.1.



Figura 2.1. Formas de los invernaderos

Fuente: Libro: Ecosystems of the World / Stanhill, G & Enoch, H Zvi

La estructura puede estar constituida por diversos materiales, siendo los más comunes el metal y la madera. Con respecto a la vida útil de estas estructuras, la de metal está estimada en 25 años, con un pequeño mantenimiento cada tres años, mientras que en madera podemos esperar una duración de 5 años, con mantenimiento cada 2 años.

#### b. Material de la cubierta

La cubierta del invernadero ofrece protección al cultivo, constituyendo una barrera para el frío, el viento, y cualquier otra condición climática que no favorezca el buen desarrollo de las plantas. La elección del material de la cubierta depende de sus propiedades ópticas, térmicas y mecánicas, así como de su durabilidad para que su utilización sea rentable. Los materiales de la cubierta se dividen en tres grupos:

- Vidrio: ofrece la mejor transmisión de luz, una buena resistencia a las condiciones climáticas, pero los componentes estructurales para sostenerlo son costosos.
- Plástico rígido (polimetacrilato de metilo (PMM), policarbonato (PC), poliéster con fibra de vidrio): utilizado generalmente con estructuras metálicas, tiene un alto costo.
- Plástico flexible (policloruro de vinilo (PVC), polietileno de baja densidad (PE), etileno vinilo de acetato (EVA)): utilizado con estructuras de madera, tiene bajo costo.

El material ideal sería el que tuviese el espesor y flexibilidad de los plásticos y las propiedades ópticas del vidrio. Es decir, que sea muy permeable, durante el día, a las radiaciones de longitud de onda inferiores a 2.500 nm. y por la noche sea lo más opaco posible a las radiaciones de longitud de onda larga, emitida por suelo y plantas, que son las que mantienen calientes a los invernaderos.

#### 2.1.3 Microclima de un invernadero

La planta puede soportar un amplio margen de condiciones ambientales, sin embargo, en un invernadero se maneja un margen ambiental más reducido con el propósito de proveer a la planta de las condiciones más apropiadas para su crecimiento. [5].

El microclima del invernadero puede explicarse en términos de cuatro factores: radiación, composición del aire, temperatura y medio de cultivo de la planta.



Figura 2.2. Factores que determinan el microclima de un invernadero  
Fuente: Diseño propio

### a. Radiación

Toda la materia puede emitir y absorber radiación electromagnética, transferencia asociada con los cambios en el estado de energía de sus moléculas y átomos. En general, cuanto más caliente es un cuerpo emite mayor radiación y la frecuencia de las ondas de emisión son más altas.

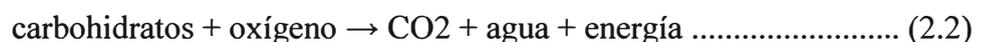
El rango de longitud de onda útil para la fotosíntesis está entre los 400 y 750 nm, ubicado en el rango de luz visible de los componentes principales de la radiación solar:

- 1) la luz ultravioleta, con longitudes de onda menores a 400 nanómetros.
- 2) la luz visible, con longitudes de onda entre los 400 y 800 nanómetros.
- 3) la radiación infrarroja, con longitudes de onda mayores a los 800 nanómetros.

El dióxido de carbono y el agua entran en el proceso de fotosíntesis para la formación de carbohidratos y oxígeno, utilizando energía luminosa provista por el sol, proceso representado por la siguiente relación:



Posteriormente la energía es liberada para ser usada en otros procesos de la planta como la absorción de nutrientes, formación de proteínas, etc. Esta energía es liberada en la respiración o proceso inverso a la fotosíntesis, representado por la siguiente relación:



De acuerdo a estas relaciones, la duración del día (fotoperíodo) y la cantidad de energía que recibe la planta influyen directamente en su desarrollo. [6]

## **b. Composición del aire**

### **• Humedad**

La humedad relativa (HR) es la cantidad de agua contenida en el aire, en relación con la máxima que sería capaz de contener a la misma temperatura. Existe una relación inversa de la temperatura con la humedad: a elevadas temperaturas, aumenta la capacidad de contener vapor de agua y por tanto disminuye la HR; con temperaturas bajas, el contenido en HR aumenta. Para una temperatura dada, la humedad relativa es el porcentaje de la presión de vapor real ( $e$ ) con respecto a la presión de vapor de saturación ( $e_s$ ).

$$HR = (e/e_s) * 100 \dots\dots\dots (2.3)$$

Mantener un nivel de humedad relativa óptimo (entre 70% y 80%) en un invernadero es complicado: durante el día, la humedad relativa del aire disminuye a medida que la temperatura aumenta; durante la noche, la disminución de la temperatura de las paredes, atmósfera y plantas, determinan el aumento de la humedad relativa y en general se produce condensación de agua en las superficies mas frías (cara interna del techo y paredes). [7]

El exceso de humedad se reduce con ventilación, aumentando la temperatura o cubriendo el suelo con plástico. La falta de humedad se corrige con riegos, pulverizando agua en el ambiente y favoreciendo la renovación de aire en el interior del invernadero.

### **• Dióxido de Carbono**

El dióxido de carbono es un componente del aire, imprescindible para la fotosíntesis. Las plantas producidas en un invernadero están formadas por 90% de agua, y del 10% restante, entre el 40 y 50% es carbono, obtenido en su mayoría del CO<sub>2</sub> del ambiente a través del proceso de fotosíntesis. Es posible incrementar la fotosíntesis en las plantas si se aumenta la concentración de CO<sub>2</sub>, la intensidad de luz y la provisión de agua. [6]

## **c. Temperatura**

La temperatura es una propiedad que determina de forma relativa qué tan caliente o frío está un cuerpo, así como la dirección y la razón de intercambio de calor entre los cuerpos. El calor es un tipo de energía que indica el estado de agitación de un cuerpo y es transferido/absorbido por otro cuerpo a través de sus fronteras como consecuencia y en proporción a la diferencia de temperatura. De esta manera, se explica por qué se requiere distinta cantidad de calor (energía) para elevar en una tasa de 1°C por 1 cm<sup>3</sup> de agua que para elevar en una tasa de 1°C por 1 cm<sup>3</sup> de aire. Al final, no se tendrá la misma cantidad de calor en ambos componentes a pesar que se encuentren a la misma temperatura. [5]

En un invernadero, la temperatura de crecimiento de una planta depende de varios factores como: tipo de planta, etapa de crecimiento, edad y estructura de la planta, concentración de dióxido de carbono, disponibilidad de energía radiante (luz), disponibilidad de agua, nutrición, fertilización y calidad del agua, etc. [7]

La temperatura es el parámetro más importante a tener en cuenta en el manejo del microclima dentro de un invernadero, ya que es el que más influye en el crecimiento y desarrollo de la planta, proporcionándole las condiciones para sus procesos fisiológicos: fotosíntesis, reproducción, respiración, transpiración, etc. Por esta razón es importante controlar el rango de temperatura para la producción en un invernadero; para la mayoría de las especies está entre los 10 y 30°C. [7]

El calentamiento del invernadero se produce cuando la radiación solar en el espectro del infrarrojo largo, procedente de la radiación que pasa a través del material de cubierta, se transforma en calor. Esta radiación es absorbida por las plantas, los materiales del invernadero y el suelo. A causa de esta absorción, éstos emiten radiación de longitud de onda más larga, la cual al traspasar por el obstáculo que representa la cubierta, emite radiación hacia el exterior y hacia el interior, calentando el invernadero. La temperatura en el interior del invernadero, va a estar en función de la radiación solar (ver Figura 2.3).

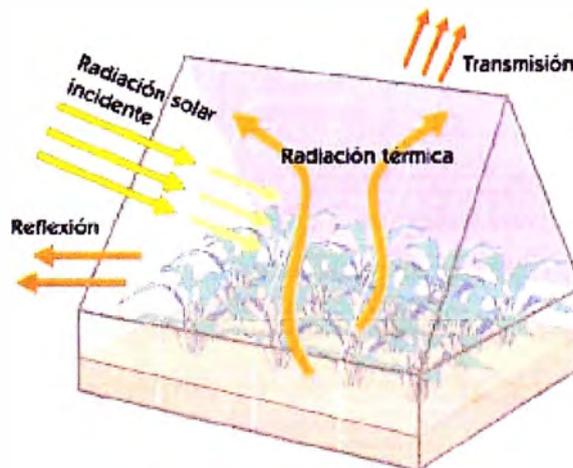


Figura 2.3. Efecto de la radiación sobre un invernadero  
Fuente: [www.redpymes.cl/Clase-practica-Manejo-Invernaderos.pdf](http://www.redpymes.cl/Clase-practica-Manejo-Invernaderos.pdf)

#### d. Medio de cultivo

Es el material sólido que permite el anclaje de la raíz de la planta, teniendo varias funciones como ser un depósito de los nutrientes de la planta, sostener el agua para que esté disponible para la planta, etc. Las características del medio de cultivo dependen de varios factores como: el tipo de material vegetal que será sembrado (semillas, plantas, estacas, etc.), especie, condiciones climáticas, aspectos económicos, etc.

En conclusión, el desarrollo de los cultivos dentro de un invernadero está condicionado por cuatro factores climáticos: temperatura, humedad, luz y CO<sub>2</sub>. Para que las plantas puedan realizar sus funciones se necesita la conjunción de estos factores dentro de unos límites mínimos y máximos, fuera de los cuales las plantas cesan su metabolismo.

## 2.2 Automatización de invernaderos

Los invernaderos tienen distintos niveles de automatización que satisfacen diferentes necesidades, sirviendo para diferentes condiciones climáticas. No siempre el invernadero más automatizado es el mejor, esto depende del costo, el clima y el tipo de cultivo.

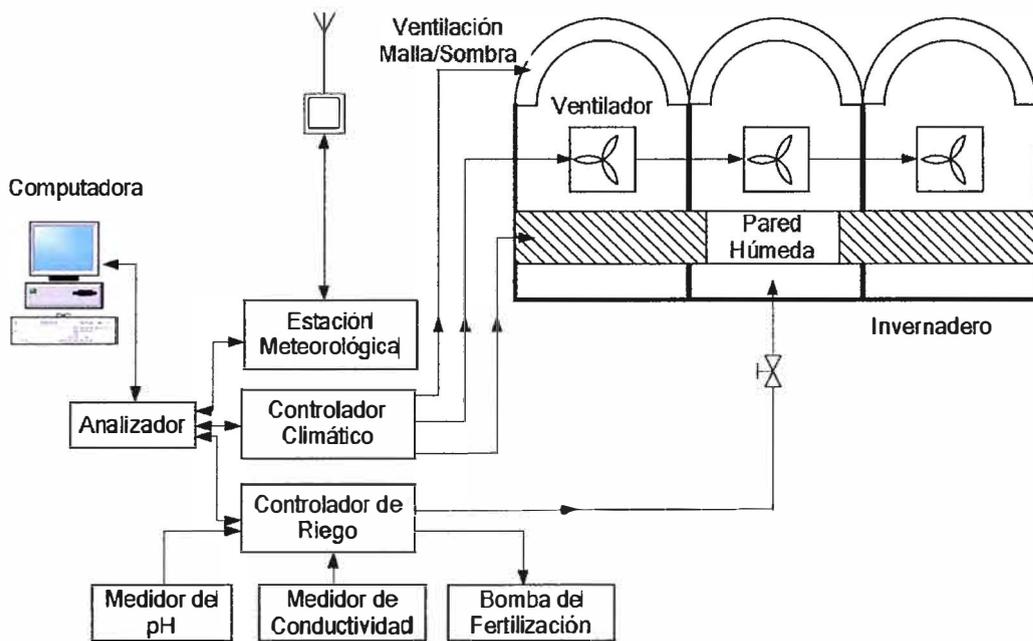


Figura 2.4. Estructura básica de un invernadero de alta tecnología

Fuente: Libro: Greenhouse Technology for Controlled Environment / Tiwari, G N

Según su nivel de automatización, los invernaderos se dividen en tres categorías:

- Invernadero de Baja Tecnología: no cuenta con dispositivos para regular el clima y es generalmente usado en climas fríos ya que incrementa la temperatura entre 6 y 10°C con respecto al exterior.
- Invernadero de Media Tecnología: tiene ventiladores con termostatos para el control de la temperatura; paredes húmedas y arreglos de aspersores para la humedad. Es adecuado para climas secos y cálidos.
- Invernadero de Alta Tecnología: tiene un sistema de control automático basado en el uso de la computadora, lo que permite considerar diversas variables del clima para un manejo más adecuado de los equipos. Es adecuado para cualquier condición climática; sin embargo, el diseño de la estructura, materiales y equipo de operación es relevante para que la tecnología utilizada en la automatización trabaje eficientemente. [7]

### 2.3 Instrumentación en los invernaderos

La automatización y la operación comercial de forma masiva de los invernaderos han provocado el desarrollo de instrumentos individuales y sistemas para el control automático y medición de varios parámetros en los invernaderos. Estos parámetros generalmente incluyen la temperatura, humedad, radiación, concentración de CO<sub>2</sub> y otros, cuya importancia se ha revisado durante la descripción del Microclima de un invernadero.

Los sensores y controladores tienen un papel importante en el proceso de automatización del clima en el invernadero, ya que la información que se obtiene y procesa a través de ellos es la base para la toma de decisiones del sistema de control que opera en el invernadero. Por ello la importancia del diseño y selección de los sensores y controladores, así como de los sistemas de adquisición para obtener la información de los sensores, con el objetivo de crear sistemas confiables y eficientes.

La Figura 2.5 ilustra la instrumentación electrónica utilizada en el proceso de automatización de un invernadero, tales como: sensores, controladores y actuadores.

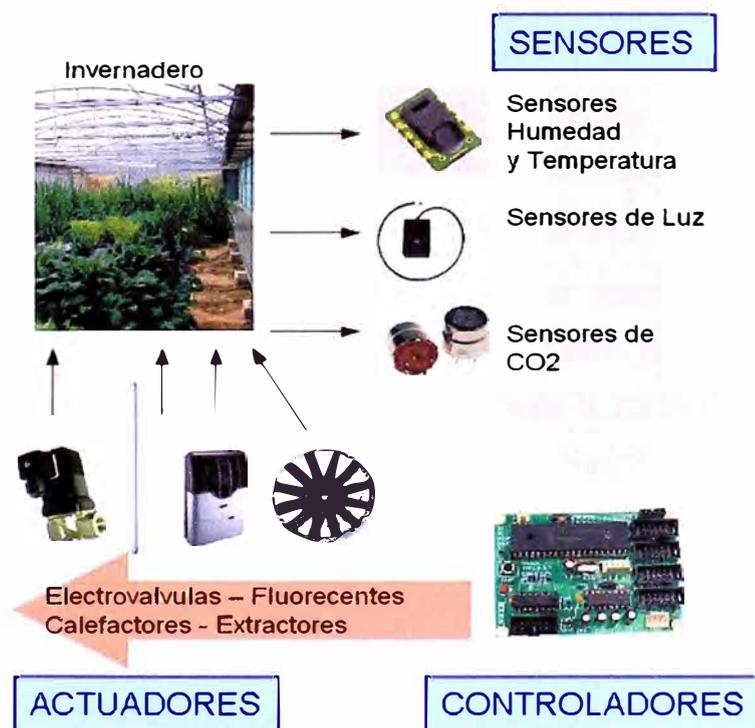


Figura 2.5. Instrumentación electrónica de un invernadero  
Fuente: Tesina: Invernadero inteligente para reducir costos en el cultivo de tomate en la zona metropolitana/Raúl García Farias

### 2.4 Sensores de temperatura

Los sensores de temperatura son todos aquellos dispositivos que se pueden utilizar para realizar una medición de temperatura en cualquier aplicación. Utilizan diversos fenómenos que son influidos por la temperatura, como son:

- Variación de resistencia en un conductor (sondas de resistencia).
- Variación de resistencia de un semiconductor (termistores).
- Fuerza electromotriz creada en la unión de dos metales distintos (termopares).
- Otros fenómenos utilizados en laboratorio (por ejemplo: velocidad del sonido en un gas, frecuencia de resonancia de un cristal, etc.).

Para realizar mediciones de temperatura confiables, es necesario seleccionar cuidadosamente el sensor más adecuado para la aplicación correspondiente, en este caso para el control de la temperatura del invernadero. Comprender las ventajas y desventajas de los sensores de temperatura ayudará a tomar la decisión correcta. Los termopares, termoresistencias, termistores y sensores integrados, son los sensores de temperatura más comúnmente usados en la medición electrónica. A continuación, se compara los principales parámetros característicos de estos populares sensores de temperatura (rangos de medición, precisión, costo, estabilidad, sensibilidad, etc).

#### 2.4.1 Termopar (termocupla)

Si se unen dos metales distintos por sus extremos y se someten a temperaturas diferentes, entre las uniones surge una diferencia de tensión que hace fluir una corriente eléctrica entre las uniones caliente y fría, la cual está en función de la diferencia de temperaturas en la unión y del tipo de metal utilizado para la unión (efecto Seebeck).

La Figura 2.6 muestra este efecto con un termopar compuesto de dos hilos de diferentes metales unidos en un extremo y abiertos en el otro, entonces la tensión en el extremo abierto es una función tanto de la temperatura de la unión como de los metales utilizados en los dos hilos. El conjunto así descrito se denomina “circuito termoeléctrico”.

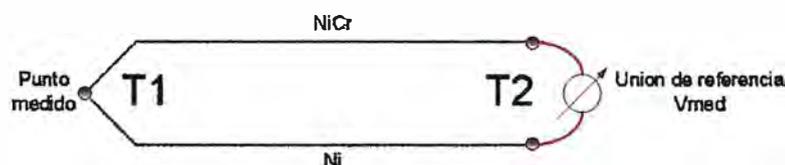


Figura 2.6. Efecto de un termopar

Fuente: Diseño a partir de [www.uhv.es/sites/milka/es/instrumentos.htm](http://www.uhv.es/sites/milka/es/instrumentos.htm)

El voltaje medido puede ser expresado por la siguiente ecuación:

$$V_{med} = V_{thT1} - V_{thT2} \dots \dots \dots (2.4)$$

Donde:

$V_{med}$  = voltaje medido

$V_{thT1}$  = voltaje en el punto de medición

$V_{thT2}$  = voltaje en la unión de referencia

La Figura 2.7 muestra la relación entre voltaje y temperatura, la cual es no lineal, dificultando la conversión de la medida de voltaje en temperatura, necesiéndose medir la temperatura de referencia ( $T_{ref}$ ) para calcular la temperatura del termopar ( $T_x$ ).

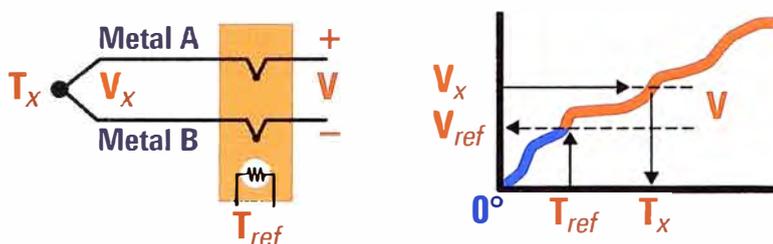


Figura 2.7. Esquema y curva Voltaje vs. Temperatura de un termopar  
Fuente: <http://cp.literature.agilent.com/litweb/pdf/5989-7800EN.pdf>

En la industria a los termopares también se les denomina termocuplas, debido a que se consiguen encapsuladas dentro de un tubo pequeño de acero inoxidable u otro material. La Figura 2.8 muestra la estructura física típica de una termocupla.



Figura 2.8. Diagrama esquemático de un termopar  
Fuente: <http://sensoresdetemperatura.blogspot.com/2009/05/sensores-de-temperatura.html>

La Tabla 2.1 contiene los diferentes tipos de termocupla, rango de uso y sensibilidad.

Tabla 2.1. Termocuplas según IEC 584-1

Tipo de Termocupla (Material de la unión)	Rango de temperatura (°C)	Sensibilidad ( $\mu\text{V}/^\circ\text{C}$ )
B (Pt 30% Rh - Pt 6% Rh)	+600 a +1700	8
E (NiCr - CuNi)	-40 a +900	76
J (Fe - CuNi)	-40 a +750	52
K (NiCr - Ni)	-40 a +1200	40
R (Pt 13% Rh - Pt)	0 a +1600	12
S (Pt 10% Rh - Pt)	-40 a +1600	10
T (Cu - CuNi)	-40 a +350	45

La sensibilidad es baja, produciendo cambios del orden de decenas de  $\mu\text{V}$  por  $^\circ\text{C}$ , lo que requiere de un buen dispositivo de medición para detectar estas pequeñas variaciones. En el rango habitual de temperaturas en invernaderos es conveniente emplear termopares tipo T (Cu-CuNi) para mejorar la precisión en la medida. Dentro de las consideraciones para su manejo, se tiene la calibración debido a que tiende a desviarse de su valor después

de un período de tiempo prolongado, por lo cual es recomendable hacer algunas mediciones con algún instrumento de referencia periódicamente. La Tabla 2.2 resume las ventajas y desventajas de este tipo de sensor.

Tabla 2.2. Ventajas y desventajas de las termocuplas

Ventajas	Desventajas
Determinación puntual de la temperatura.	Mantener la temperatura de referencia fija.
Respuesta rápida a las variaciones de temperatura.	La temperatura máxima que alcance el termopar debe ser inferior a su temperatura de fusión.
No necesita alimentación.	El medio donde se va a medir no debe atacar a los metales de la unión.
Rango de temperatura grande: $-100\text{ }^{\circ}\text{C} - 2000\text{ }^{\circ}\text{C}$	La corriente por el termopar debe ser muy pequeña para desprestigiar el efecto Joule.
Estabilidad aceptable a largo plazo.	No adecuados para aplicaciones de alta precisión.
Muy resistentes y fáciles de instalar.	
Costo económico bajo.	

#### 2.4.2 RTD (termorresistencia)

Los RTD (Resistance Temperature Detector) basan su funcionamiento en el efecto que produce la temperatura en la resistencia de varios materiales: al variar la temperatura en el material resistivo, el flujo de electrones también varía, es decir la resistencia presenta una variación con la temperatura.

El sensor consiste en un arrollamiento de hilo muy fino del conductor adecuado, bobinado entre capas de material aislante y protegido con un revestimiento de vidrio o cerámica. Las bobinas que llevan arrollado el hilo de resistencia, están encapsuladas y situadas dentro de una vaina de acero inoxidable. Su construcción puede hacerse con 2, 3 o 4 cables, según la necesidad del proceso. La interconexión entre RTD e instrumentos se realiza con cable común de cobre. La Figura 2.9 muestra la estructura física típica de una termorresistencia.

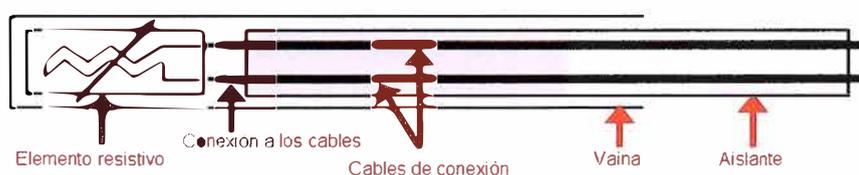


Figura 2.9. Diagrama esquemático de una termorresistencia (RTD)

Fuente: <http://es.wikipedia.org/wiki/Termorresistencia>

Como elemento resistivo se suele utilizar un hilo de platino, debido a la pureza con que se obtiene y a la constancia de sus propiedades físicas y químicas a lo largo del tiempo, por lo que se conoce muchas veces a este sensor como PRT (Platinum Resistance Thermometer). Su rango de medida suele ser de  $-10$  a  $60\text{ }^{\circ}\text{C}$ , con una precisión de  $0,1\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

El cambio de resistencia se mide con un circuito eléctrico que consiste de un elemento sensitivo, una fuente de tensión auxiliar y un instrumento de medida. La Tabla 2.3 contiene los diferentes tipos de RTD, rango de uso y sensibilidad.

Tabla 2.3. Tipos de RTD

Tipo de RTD (Material)	Rango de temperatura (°C)	Sensibilidad (%/°C a 25 °C)
Platino	-200 a +850	0.385
Níquel	-80 a +320	0.67
Cobre	-200 a +260	0.38
Níquel-Acero	-200 a +260	0.46

Un sensor de este tipo, muy utilizado en los invernaderos, es la termorresistencia de platino de 100  $\Omega$ , denominada como sonda Pt-100, con un valor de 100  $\Omega$  a 0 °C y 138,5  $\Omega$  a 100 °C, cuya curva característica se muestra en la Figura 2.10. Una ventaja de la sonda Pt-100 a cuatro hilos es que la distancia entre sensor y sistema de adquisición de datos no influye en la medida; esto es una ventaja en invernaderos, ya que el sensor puede estar a 20 o 30 m de distancia del punto de medición.

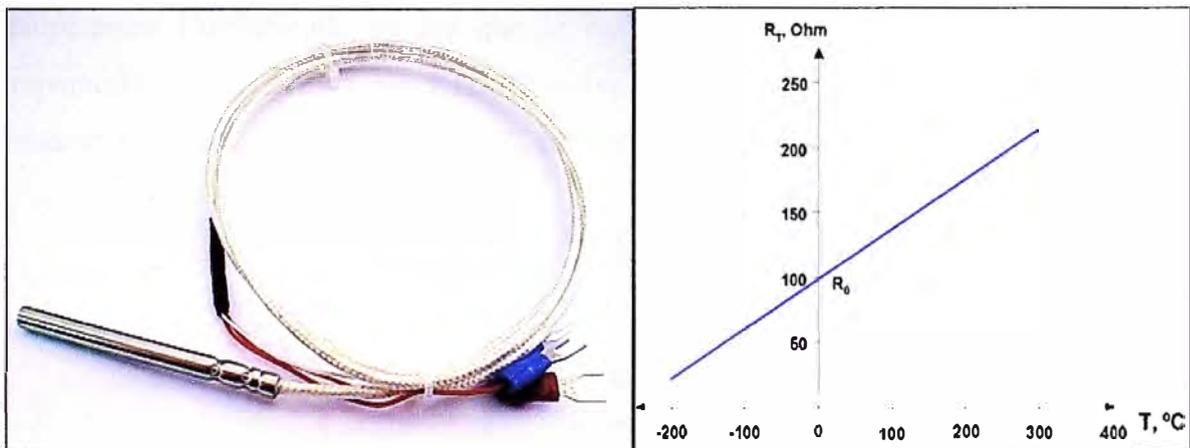


Figura 2.10. Sonda Pt-100 y su curva característica  
Fuente: [www.ecvv.com/product/3083655.html](http://www.ecvv.com/product/3083655.html)

Las consideraciones que deben hacerse con los RTD son parecidas a las de los termopares: deben usarse cables protegidos y entrelazados para su conexión, evitar el estrés y utilizar cables de gran extensión. Además, debe considerarse que los RTD son más frágiles que los termopares y pueden autocalentarse debido a que utilizan una fuente de alimentación para la corriente que pasa a través del sensor. Por eso es importante mantener al mínimo la magnitud de la corriente provista y utilizar el RTD con la mayor resistividad posible sin perder de vista la resolución.

Un RTD es el sensor de temperatura más preciso y estable, pero a su vez es el más lento y mas caro. Por lo tanto, los RTD se ajustan a aplicaciones donde la precisión es

fundamental, pero donde la velocidad y el costo son menos importantes. La Tabla 2.4 resume las ventajas y desventajas de este tipo de sensor.

Tabla 2.4. Ventajas y desventajas de los RTD

Ventajas	Desventajas
Alta precisión, en función del circuito de acondicionamiento.	Él limite de temperatura máxima es bajo.
Elevada linealidad, especialmente para el Platino.	Tamaño y masa mayor que otros sensores, limitando su velocidad de reacción.
Buena estabilidad a largo plazo, fidelidad y repetitividad.	Poca robustez, necesita ser encapsulado.
Rango de temperatura grande: $-200\text{ }^{\circ}\text{C} - 850\text{ }^{\circ}\text{C}$	Sensible al autocalentamiento.
Adecuado para rangos de temperatura muy bajos (criogénico).	Dispositivo pasivo, necesita alimentación de tensión o corriente.
	Alto costo.

### 2.4.3 Termistor

Son resistores variables con la temperatura, pero no están basados en conductores como los RTD, sino en semiconductores. Existen dos tipos: termistores NTC (Negative Temperature Coefficient), en los que la resistencia eléctrica decrece al aumentar la temperatura; y los termistores PTC (Positive Temperature Coefficient), en los que la resistencia eléctrica crece al aumentar la temperatura.

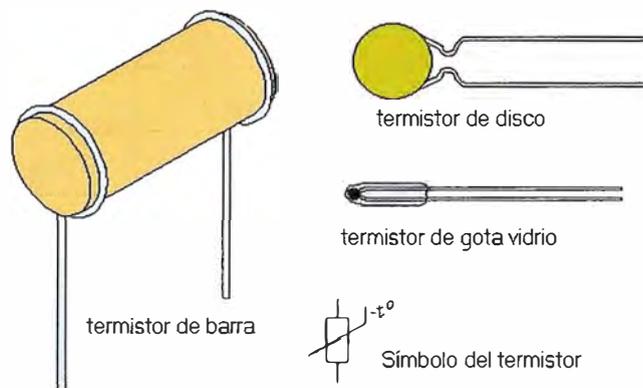


Figura 2.11. Termistor

Fuente: <http://et3-g5-2011.blogspot.com>

El termistor está compuesto de materiales semiconductores como óxidos de cobre, manganeso, níquel, cobalto y litio. Estos óxidos son mezclados en ciertas proporciones, impresos en las formas deseadas y tratados con calor para formar los cuerpos cerámicos con las características de resistencia necesarias. Debido a este proceso de fabricación, el tamaño y forma del termistor puede variar desde formas de grano con 1 mm de diámetro hasta sensores en chips de 10 cm de longitud. Por su pequeño tamaño, se los encuentra

montados en sondas que pueden ser específicamente diseñados para posicionarlos y protegerlos adecuadamente cualquiera sea el medio donde tengan que trabajar. [7]

La mayoría de los termistores son diseñados para trabajar en el rango de  $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$  a  $150\text{ }^{\circ}\text{C}$ , aunque en la práctica pueden abarcar desde  $-100\text{ }^{\circ}\text{C}$  hasta  $+500\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Su resistencia base a  $25\text{ }^{\circ}\text{C}$  ( $R_{25}$ ) está típicamente en el rango de  $100\ \Omega$  a  $100\ \text{k}\Omega$ , aunque también se fabrican termistores con valores de  $R_{25}$  tan bajos como  $10\ \Omega$  y tan altos como  $40\ \text{M}\Omega$ .

En intervalos amplios de temperatura, los termistores tienen características no lineales, tal como se muestra en la Figura 2.12. Al tener un alto coeficiente de temperatura poseen una mayor sensibilidad que los RTD y permiten incluso intervalos de medida de  $1\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Son de pequeño tamaño y su tiempo de respuesta depende de la capacidad térmica y de la masa del termistor variando de fracciones de segundo a minutos. Debido a su sensibilidad, es recomendable para mediciones de temperatura dinámicas.

La distancia entre el termistor y el instrumento de medida puede ser considerable siempre que el elemento posea una alta resistencia comparada con la de los cables de unión. La corriente que circula por el termistor a través del circuito de medida debe ser baja para garantizar que la variación de resistencia del elemento sea debida exclusivamente a los cambios de temperaturas del proceso.

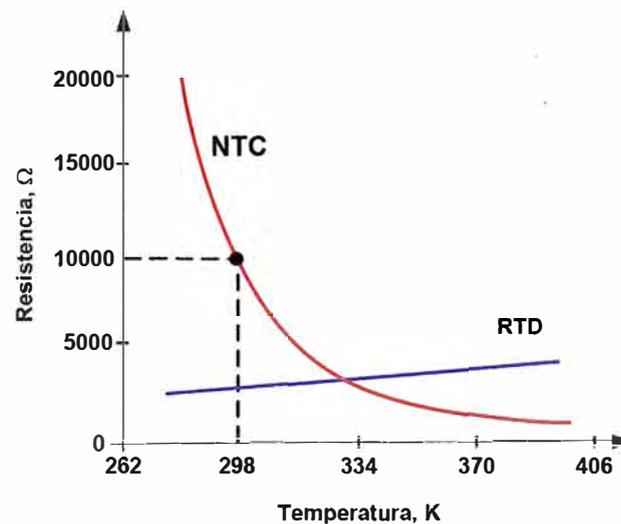


Figura 2.12. Curva característica del termistor NTC comparada con un RTD  
Fuente: Elaboración a partir de hoja de datos de termistores y RTD

Los termistores tienen una masa pequeña, por lo que son rápidos y no causan carga térmica. Sin embargo, pueden ser frágiles debido a su tamaño y una gran corriente en la medición causará autocalentamiento, lo que puede dañarlo de manera permanente. En general, los termistores son más útiles en aplicaciones donde se necesita medidas de temperatura rápidas y sensibles; su tamaño pequeño es beneficioso cuando el espacio es

crítico, pero se debe tener cuidado con los errores de autocalentamiento. La Tabla 2.5 resume las ventajas y desventajas de este tipo de sensor.

Tabla 2.5. Ventajas y desventajas de los termistores

Ventajas	Desventajas
<p>Ofrece un coeficiente de temperatura que lo hace muy sensible con precisiones hasta de <math>0.01^{\circ}\text{C}</math>.</p> <p>Soporta el estrés eléctrico y mecánico.</p> <p>Buena operación en el rango de temperatura de <math>100^{\circ}\text{C}</math> a <math>300^{\circ}\text{C}</math>.</p> <p>Bajo costo y fácil adaptabilidad.</p> <p>Dispositivo de dimensiones muy pequeñas.</p> <p>Rápida velocidad de respuesta.</p>	<p>Comportamiento resistivo altamente no lineal.</p> <p>Problemas de autocalentamiento, requiere niveles de corriente más bajos que los instrumentos metálicos (entre más pequeño es el dispositivo responderá más rápido a cambios de temperatura, pero es más susceptible a autocalentarse).</p> <p>Debido a que es un semiconductor, es más susceptible a descalibraciones permanentes que un RTD o un termopar.</p> <p>Poca robustez, es más frágil que un RTD o termopar.</p> <p>Dispositivo pasivo.</p>

#### 2.4.4 Sensores integrados

Un sensor integrado de temperatura es un sensor digital con una relación muy lineal de voltaje/corriente a temperatura. Algunos sensores integrados incluso representan la temperatura en un formato de salida digital que puede ser leída directamente por un microprocesador. Existen dos tipos de sensores integrados de temperatura (Figura 2.13), con la siguiente relación de temperatura:

- Voltaje:  $10\text{ mV/K}$
- Corriente:  $1\text{ }\mu\text{A/K}$

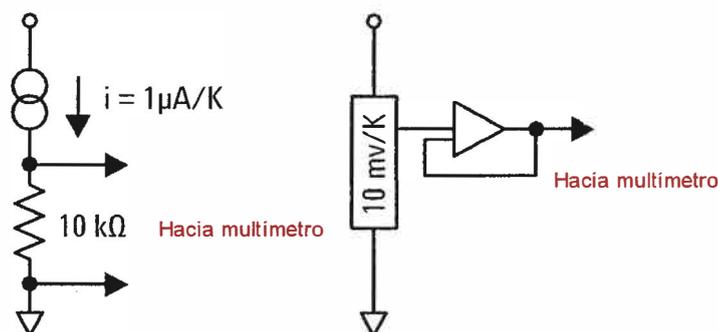


Figura 2.13. Diagrama esquemático de un sensor integrado de temperatura

Fuente: <http://cp.literature.agilent.com/litweb/pdf/5989-7800EN.pdf>

Estos tipos de sensores tienen como ventaja principal que operan naturalmente de forma lineal con una salida en corriente o tensión proporcional a la temperatura absoluta. Las desventajas de los sensores integrados son semejantes a las de termómetros resistivos, sumado a su limitado rango de medida de  $150^{\circ}\text{C}$ . [9]

Este tipo de sensores resuelven el problema de la linealidad y ofrecen altos niveles de rendimiento. Son relativamente económicos y bastante precisos a temperatura ambiente. Sin embargo, los sensores de IC no tienen tantas opciones de configuraciones del producto o de gama de temperaturas, y además son dispositivos activos, por lo que se requiere de una fuente de alimentación. Físicamente son grandes, por lo que debido a su masa tienen una respuesta lenta al cambio de temperatura y pueden causar carga térmica.

En la Tabla 2.6 se resume la comparación de los sensores de temperatura.

Tabla 2.6. Comparación de las principales características de los sensores de temperatura

	<b>Termopar</b>	<b>RTD</b>	<b>Termistor</b>	<b>Sensor Integrado</b>
<b>Ventajas</b>	Auto alimentado. Robusto. Barato. Amplia variedad. Rangos amplios de temperatura.	El más estable. El más preciso. Más lineal que el termopar.	Muy sensible. Rápido. Medida de dos hilos.	Muy lineal. El más sensible. Barato.
<b>Desventajas</b>	No lineal. Baja tensión. Requiere de una referencia. El menos estable. El menos sensible.	Costoso. Lento. Requiere de una fuente de corriente. Baja sensibilidad. Autocalentamiento. Medida de cuatro hilos.	No lineal. Rango limitado de temperatura. Frágil. Requiere de una fuente de corriente. Autocalentamiento.	Temperaturas menores a 200°C. Requiere de una fuente de alimentación. Lento. Autocalentamiento. Configuraciones limitadas.

En la Figura 2.14 se compara el comportamiento del voltaje, resistencia o corriente con respecto al cambio de temperatura para los instrumentos de medición descritos.

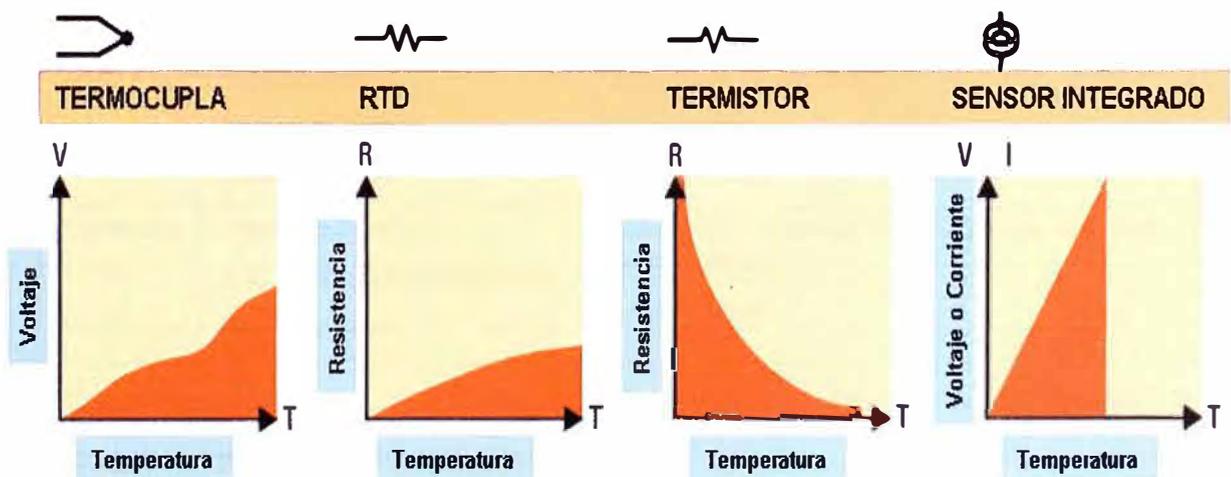


Figura 2.14. Comportamiento de los sensores de temperatura  
Fuente: <http://cp.literature.agilent.com/litweb/pdf/5989-7800EN.pdf>

## 2.5 Acondicionamiento de señal

Difícilmente se conecta un sensor directamente a la parte de procesamiento o de despliegue de un sistema, ya que la señal enviada por el sensor por lo general es muy débil o contiene ruido y componentes no deseados, por lo que se necesitan etapas de acondicionamiento de señal. La Figura 2.15 muestra la ubicación de esta etapa dentro del sistema de control de temperatura de un invernadero.

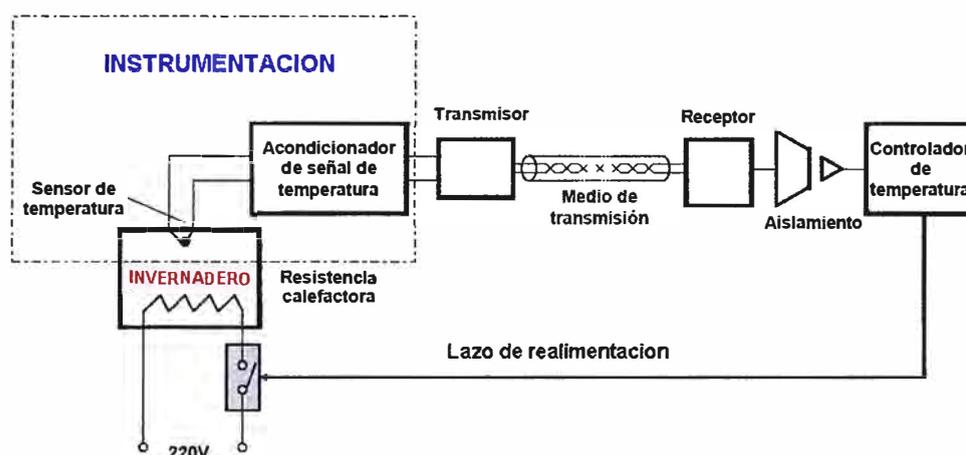


Figura 2.15. Diagrama del sistema de control de temperatura de un invernadero

Fuente: [http://ocw.uc3m.es/tecnologia-electronica/temas1-2-3\\_06\\_MOD.pdf](http://ocw.uc3m.es/tecnologia-electronica/temas1-2-3_06_MOD.pdf)

Las características de los sensores definen los requerimientos del acondicionamiento de señal, los que se resumen en la Tabla 2.7.

Tabla 2.7. Acondicionamiento requerido por los sensores de temperatura

Sensor	Características eléctricas	Requerimientos de acondicionamiento de señal
<b>Termopar</b>	Salida de bajo voltaje. Baja sensibilidad. Salida no lineal.	Sensor de temperatura de referencia para compensación de unión fría. Alta amplificación. Linealización
<b>RTD</b>	Baja resistencia. Baja sensibilidad. Salida no lineal.	Excitación de corriente. Configuración de 3 o 4 cables. Linealización.
<b>Termistor</b>	Dispositivo resistivo. Alta resistencia y sensibilidad. Salida no lineal.	Excitación de voltaje o corriente con resistencia de referencia. Linealización.

Cualquiera que sea el circuito de acondicionamiento, hay dos consideraciones con validez general para todos los sensores resistivos:

- Todos necesitan una alimentación eléctrica (tensión o corriente), para poder obtener una señal de salida eléctrica.

- La magnitud de esta alimentación, que influye directamente en la sensibilidad del sensor, viene limitada por el posible autocalentamiento del mismo, ya que una variación de su temperatura influye en su resistencia.
- El circuito de acondicionamiento debe proporcionar una impedancia de entrada adecuada para no demandar mucha corriente al sensor.

**2.5.1 Configuración de medida**

• **RTD**

A diferencia de los termopares, los RTD no necesitan una referencia para su conexión a una unidad de medida. A pesar que parece fácil su conexión a un multímetro, hay que considerar que no se trata de medir simplemente la resistencia, sino que se requiere la adopción de medidas para mediciones de baja resistencia.

**Método de dos hilos**

Al tratarse de un sensor de muy baja resistencia, la conexión con dos hilos a un multímetro lleva asociada un error debido a las resistencias de los hilos de conexión. Por ejemplo, una Pt-100 conectada a un multímetro con dos cables de resistencia de 1 Ω, produce el error de temperatura siguiente:

$$Error = \frac{2\Omega}{0,00385 \frac{\%}{^{\circ}C} * 100 \Omega} = \frac{2\Omega}{0,00385 \frac{\Omega}{^{\circ}C} * 100 \Omega} = 5,1948 \text{ } ^{\circ}C \approx 5^{\circ} C$$

Esto hace que generalmente formen parte de un puente de Wheatstone con una configuración de tres hilos y excitación de tensión, o cuatro hilos y excitación de corriente.

**Puente de Wheatstone con el método de tres hilos**

La Figura 2.16 muestra la configuración de un puente en donde tienen lugar los errores de hilos de conexión mencionados anteriormente.

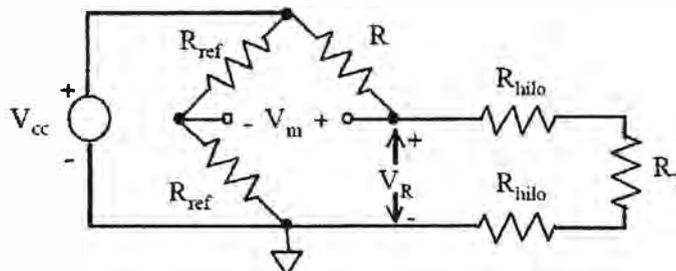


Figura 2.16. Puente de Wheatstone y errores por hilos de conexión  
Fuente: Libro: Instrumentación electrónica / Juan José González de la Rosa

La tensión medida en el multímetro es:

$$V_m = V_R - \frac{V_{cc}}{2} \dots\dots\dots(2.5)$$

La tensión  $V_R$  se mide en realidad en una resistencia suma de la del RTD y la de los hilos de conexión. Para minimizar el error se emplea la configuración de tres hilos de la Figura 2.17, en la que se reduce a la mitad la resistencia parásita de los hilos.

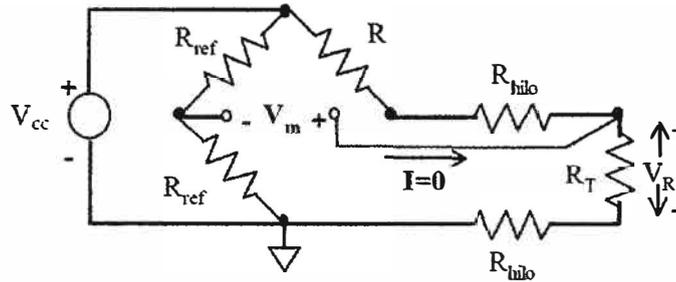


Figura 2.17. Puente de Wheatstone usando configuración de tres hilos  
Fuente: Libro: Instrumentación electrónica / Juan José González de la Rosa

La siguiente expresión permite obtener la resistencia del RTD en función del resto de los parámetros del circuito:

$$R_T = (R + R_{hilo}) \cdot \left( \frac{V_{CC} + 2 \cdot V_m}{V_{CC} - 2 \cdot V_m} \right) - R_{hilo} \dots \dots \dots (2.6)$$

Para obtenerla basta con calcular la tensión  $V_R$  y luego aplicar la ecuación

Como se observa, esta configuración tampoco elimina el error de hilos de conexión, para ello se emplea la configuración de cuatro hilos.

**Puente de Wheatstone con el método de cuatro hilos**

La Figura 2.18 muestra la configuración de medida de cuatro hilos, que consigue eliminar el error asociado a los hilos de conexión., empleando una fuente de corriente de polarización en lugar de una fuente de tensión.

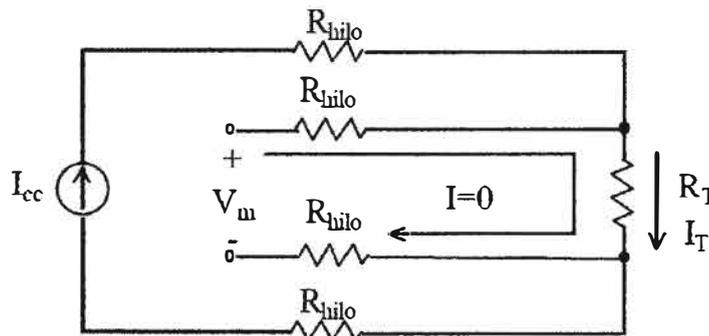


Figura 2.18. Puente de Wheatstone usando configuración de cuatro hilos  
Fuente: Libro: Instrumentación electrónica / Juan José González de la Rosa

Por tanto, el valor del RTD es:

$$R_T = \frac{V_m}{I_T} \dots \dots \dots (2.7)$$

Para minimizar los errores por autocalentamiento, la corriente por el RTD no debe superar 1 mA. En consecuencia, la tensión medida no debe superar 0,01 V en una Pt-100.

- **Termistor**

Se utiliza una configuración tradicional de dos hilos (conexión de una resistencia a un multímetro de alta impedancia), inyectando el instrumento una intensidad constante, tal como se muestra en la Figura 2.19.

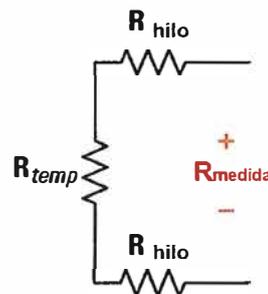


Figura 2.19. Diagrama de medición para el termistor

Fuente: <http://cp.literature.agilent.com/litweb/pdf/5989-7800EN.pdf>

Por ejemplo, en un termistor común con una resistencia de 5 K $\Omega$  a 25 °C y coeficiente de temperatura de 0,04%/°C, su sensibilidad sería:  $S = 5000 \Omega \times 0,04 \frac{\Omega}{\Omega \cdot ^\circ C} = 200 \frac{\Omega}{^\circ C}$

Entonces, si los cables de conexión tienen una resistencia de 10  $\Omega$ , causarían un error poco significativo:

$$\frac{10 \Omega}{200 \frac{\Omega}{^\circ C}} = 0,05 \text{ } ^\circ C$$

- **Sensor integrado**

En general, estos dispositivos se comercializan en encapsulados de dos o tres terminales, con alimentaciones en el rango de 5-30 V. La salida que suministran es proporcional a la temperatura. La figura 2.20 muestra un ejemplo de estos circuitos (modelado por una fuente de corriente), con un coeficiente de corriente de 1 mA/°C.

Como la corriente por el AD 590 es nula a 0 °C, también lo es la salida  $V_m$ . El potenciómetro se ajusta para conseguir un coeficiente de tensión de salida de 1 mV/°C. La salida normalmente se transfiere a un circuito aislador para evitar los efectos de carga. El rango de funcionamiento abarca desde -50 a 150 °C y se emplean en aplicaciones donde la temperatura varía en un rango menor que los RTD. A su linealidad se deben añadir como ventajas su pequeño coste, precisión a temperatura ambiente, su salida de tensión apreciable y el pequeño autocalentamiento. Esto último es consecuencia de su reducido consumo de potencia (75-100 mW).

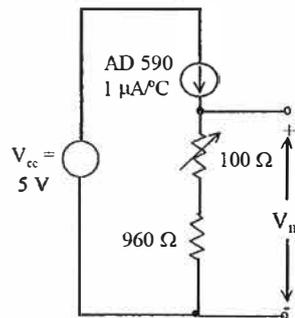


Figura 2.20. Diagrama de medición para el sensor integrado  
Fuente: Libro: Instrumentación electrónica / Juan José González de la Rosa

### 2.5.2 Amplificación

Por lo general las señales que se reciben de un sensor deben ser amplificadas a gran escala, hasta niveles utilizables por el resto del sistema. La mayoría de amplificadores para sistemas de instrumentación se realizan utilizando amplificadores operacionales (opamp), por su versatilidad y sencillez de utilización, ya que tienen las siguientes características:

- Resistencia de entrada alta (orden de cientos de  $M\Omega$ )
- Resistencia de salida baja (debajo de  $1\Omega$ )
- Gran ganancia de lazo abierto (orden de  $10^4$  a  $10^6$ )
- Gran CMRR (common mode rejection ratio – relación de rechazo al modo común)
- Buen rango de frecuencias de operación.
- Baja sensibilidad a las variaciones de la fuente de alimentación.
- Gran estabilidad al cambio de temperatura en el ambiente.

El amplificador de instrumentación es un amplificador diferencial tensión-tensión cuya ganancia puede establecerse de forma muy precisa y que ha sido optimizado para operar de acuerdo a su propia especificación incluso en un entorno hostil, siendo idóneo para amplificar la señal de salida de montajes en puente de Wheatstone.

Los amplificadores de instrumentación tienen las siguientes características:

- Son amplificadores diferenciales con una ganancia diferencial precisa y estable, generalmente en el rango de 1 a 1000.
- Su ganancia diferencial es controlada mediante un único elemento analógico (potenciómetro resistivo) o digital (conmutadores), lo que facilita su ajuste.
- Su ganancia en modo común debe ser muy baja respecto de la ganancia diferencial, esto es, debe ofrecer un CMRR muy alto en todo el margen de frecuencia en que opera.
- Una impedancia de entrada muy alta para que su ganancia no se vea afectada por la impedancia de la fuente de entrada.

- Una impedancia de salida muy baja para que su ganancia no se vea afectada por la carga que se conecta a su salida.
- Bajo nivel de la tensión de offset del amplificador y baja variación en el tiempo y con la temperatura, a fin de poder trabajar con señales de continua muy pequeñas.
- Un ancho de banda ajustado al que se necesita en el diseño.
- Un factor de ruido muy próximo a la unidad, esto es, que no incremente el ruido.
- Una razón de rechazo al rizado a la fuente de alimentación muy alto.

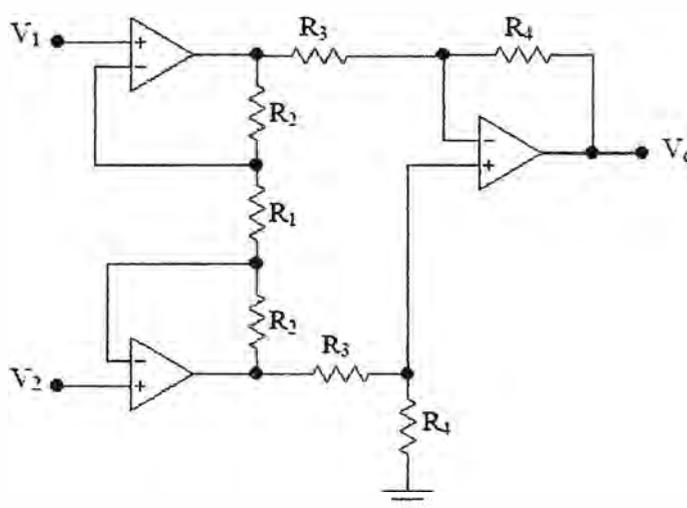


Figura 2.21. Diagrama del amplificador de instrumentación  
Fuente: Elaboración propia

$$G_d = A = \left( \frac{2R_2 + R_1}{R_1} \right) \left( \frac{R_4}{R_3} \right) \dots\dots\dots(2.8)$$

$$CMRR = \frac{G_d}{G_c} \dots\dots\dots(2.9)$$

Donde:

$G_d = A =$  Ganancia en modo diferencial, cuando  $V_1 \neq V_2$

$G_c =$  Ganancia en modo común, cuando  $V_1 = V_2$

Las técnicas de integración permiten obtener amplificadores de instrumentación monolíticos a un costo reducido y con buenas prestaciones. De modo que habitualmente se recurre a estos circuitos y no se implementan amplificadores de instrumentación utilizando componentes discretos.

## 2.6 Controladores

La mayor parte de sistemas de automatización de invernaderos se realiza en base a dos tipos de controlador: Controladores Lógicos Programables (PLC) y controladores basados en microcontrolador. Este informe se enfoca en la segunda opción.

- **Microcontrolador**

Un microcontrolador es un circuito integrado con una arquitectura similar a una computadora (CPU, RAM, ROM, módulos I/O, bus de datos y direcciones), pero con características fijas que no se pueden modificar, tal como se muestra en la Figura 2.22.

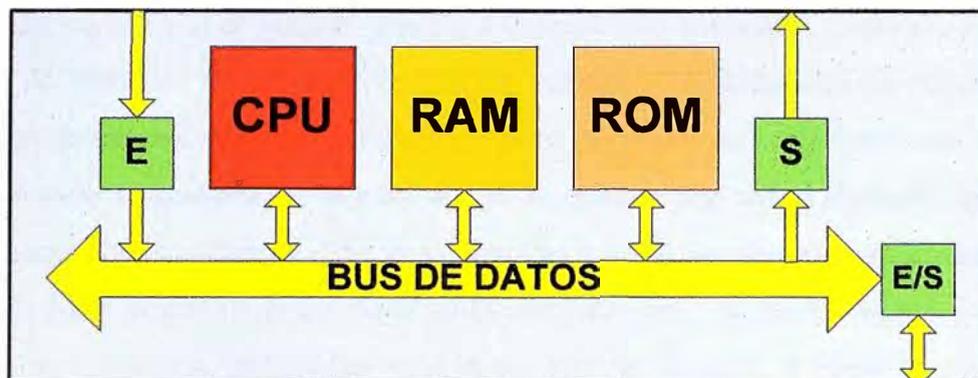


Figura 2.22. Arquitectura de un microcontrolador  
Fuente: Diseño propio

Como una unidad de control, posee hardware (componentes electrónicos integrados) y software (algoritmos), que lo convierten en el cerebro de un sistema automatizado.

- **Principales funciones del microcontrolador**

- Detección y lectura de las señales que envían los sensores.
- Envío de las acciones de mando y control al sistema, por medio de los actuadores.
- Informar del estado del proceso y detectar fallas.
- Permitir la reprogramación con un nuevo algoritmo de supervisión y control.

- **Componentes de un controlador**

- Fuente de alimentación: convierte la energía alterna de la red eléctrica en energía continua requerida por los componentes electrónicos.
- Tarjeta procesadora: aquí se encuentre el microcontrolador, que interpreta las instrucciones del programa grabado en la memoria y deduce las operaciones, acciones de control o supervisión a llevarse a cabo.
- Tarjeta de memoria: contiene los componentes electrónicos que permiten memorizar el programa, los datos de los sensores (señales de entrada) y las acciones que deben realizar los actuadores (señales de salida).
- Módulos de entrada/salida: que permiten la conexión con dispositivos de entrada/salida tanto de tipo analógico como digital.
- Periféricos de entrada/salida: como una consola para ingresar los parámetros de control, o una pantalla para la presentación gráfica de dichos parámetros.

## 2.7 Sistema de adquisición de datos

La adquisición de datos es el proceso de obtener o generar información de manera automatizada desde recursos de medidas analógicas y digitales, como los sensores descritos previamente, utilizando una combinación de hardware y software (controlador), para brindar un sistema de medida flexible y definido por el usuario. Consiste en tomar un conjunto de variables físicas, convertirlas en voltajes y digitalizarlas de manera que se puedan procesar en una computadora, para lo cual se requiere una etapa de acondicionamiento que adecua la señal a niveles compatibles con el elemento que hace la transformación a señal digital. Una vez obtenidas las señales digitales, se envían a través del bus de datos dentro de la memoria de la computadora y se las puede procesar con un programa de aplicación, archivarlas en el disco duro, graficarlas en pantalla, enviarlas por correo electrónico o hacerlas disponibles por Internet (ver Figura 2.23).

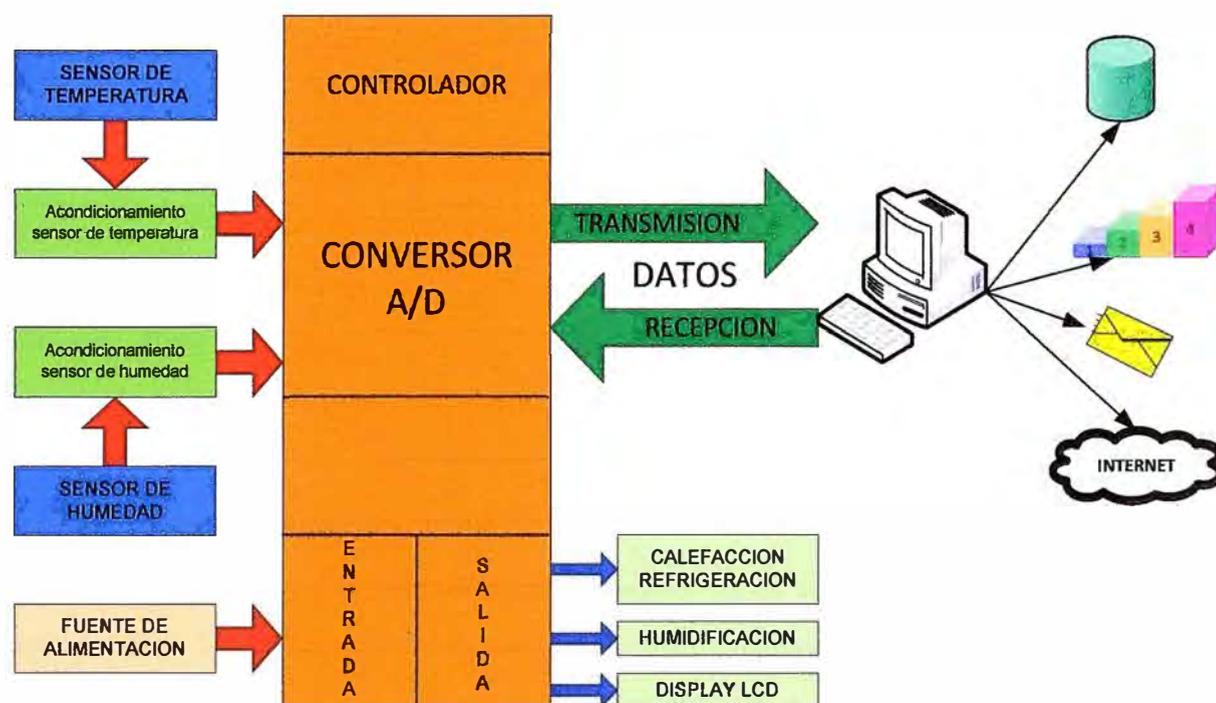


Figura 2.23. Diagrama de un sistema de adquisición de datos y sus aplicaciones  
Fuente: Diseño propio

Un sistema de adquisición de datos utiliza sensores, amplificadores, convertidores analógico digital (A/D) y digital analógico (D/A), para procesar información acerca de un sistema físico de forma digitalizada, obteniendo ventajas como: flexibilidad de procesamiento, posibilidad de realizar las tareas en tiempo real o en análisis posteriores, gran capacidad de almacenamiento, rápido acceso a la información y toma de decisión, etc.

Dos parámetros muy importantes a considerar en el proceso de conversión analógico digital (A/D) son la resolución (numero de bits) y la frecuencia de muestreo. La Figura

2.24 muestra la relación de estos parámetros con la tendencia de uso de los convertidores A/D, basado en el tipo de aplicación y método de conversión.

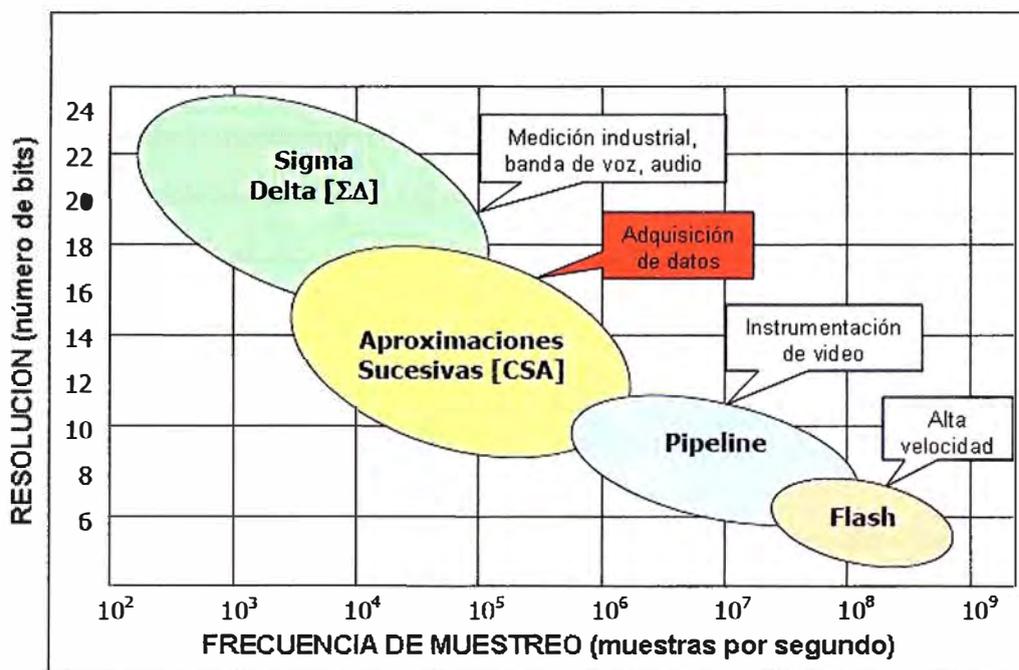


Figura 2.24. Frecuencia de muestreo vs. Resolución

Fuente: Elaborado a partir de <http://www.techdesignforums.com>

Para la adquisición de datos para el control climático en invernaderos, es suficiente con una resolución baja (8-12 bits) y una frecuencia de muestreo media (10K-100K muestras por segundo), ya que la variación de los parámetros climáticos, especialmente de la temperatura, es lenta.

- **ADC de aproximaciones sucesivas**

El convertidor A/D de aproximaciones sucesivas es uno de los tipos de convertidor más popular. Las sucesivas comparaciones entre un voltaje analógico desconocido y las diferentes porciones de una referencia, son las que dan a este convertidor el nombre de “aproximaciones sucesivas”. Para un convertidor de N bits se necesitan N aproximaciones hasta conseguir la salida digital definitiva, por lo que en todo el rango de tensiones de entrada, el tiempo de conversión será fijo y dependerá de la frecuencia de reloj.

A partir de la Figura 2.25, se puede explicar el funcionamiento del convertidor:

- La tensión analógica a convertir  $V_e$ , se aplica a una de las entradas del comparador, mientras la salida del convertidor D/A se aplica a la otra. El registro de aproximaciones sucesivas (S.A.R.), sincronizado por un reloj, proporciona la entrada al D/A y responde a la salida del comparador.

- Inicialmente el registro de aproximaciones sucesivas coloca en el D/A la combinación 100...0, (el bit más significativo es puesto a 1 mientras que todos los demás bits son cero). Esto producirá en la salida del D/A un voltaje equivalente a la mitad de la tensión de referencia. El comparador determina en ese momento si la tensión analógica de entrada es mayor o menor que la tensión de salida del D/A. Si  $V_e$  es mayor que la salida del D/A, el 1 del MSB es retenido en el S.A.R. y en caso contrario, es puesto a 0.
- En el siguiente ciclo de reloj, el segundo bit más significativo es puesto a uno, (correspondiente a 1/4 de la tensión de referencia) quedando todos los demás bits a cero. El proceso continúa hasta que el bit menos significativo (LSB) es comprobado. En este caso, se produce una señal de fin de conversión y la mejor aproximación digital a la tensión  $V_e$ , es enviada al registro de salida.

En la actualidad hay un amplio rango de dispositivos disponibles con resoluciones entre 8 y 16 bits y tiempos de conversión desde 100 $\mu$ s hasta por debajo del  $\mu$ s.

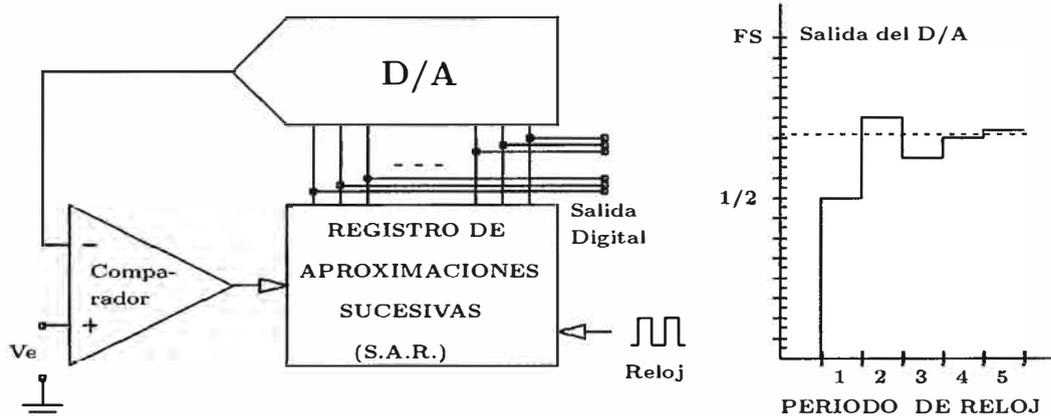


Figura 2.25. Diagrama del convertidor AD de aproximaciones sucesivas  
Fuente: <http://cdsweb.cern.ch/record/1213280/files/p281.pdf>

## 2.8 Protocolos de comunicación para la adquisición de datos

Los sistemas de adquisición de datos utilizan diversas interfaces de comunicaciones, siendo la comunicación en paralelo y serial los protocolos de comunicación más utilizados por estos sistemas.

### 2.8.1 Comunicación en paralelo

El bus de adquisición IEEE488 es el más común para la transmisión en paralelo. Desarrollado por Hewlett Packard como una interfaz para sus equipos por lo que también se le conoce como Bus de Interfaz de Hewlett Packard (HPIB). Posteriormente fue usado por otros fabricantes, por lo que se le conoció como Bus de Interfaz de Propósito General (GPIB). [10]

Este estándar utiliza 24 líneas: 8 para transferencia de datos, 5 líneas de control, 3 de control de datos y 8 de referencia, manejando niveles de voltaje TTL (0 lógico: 0 – 0.8 V, 1 lógico: 2.5 – 5 V). Debido a que los datos se transmiten paralelamente, se pueden alcanzar velocidades superiores a 1 Mbps, conectándose hasta 15 componentes en la red. La longitud máxima es 4 m. lo cual limita su uso en ambientes industriales y aplicaciones como la adquisición de datos en un sistema de control de invernadero. [11]

### **2.8.2 Comunicación serial**

Los protocolos más comunes son RS-232 y RS-485. Normalmente son más lentos que los protocolos en paralelo, pero soportan distancias de transmisión mayores y requieren menos cables, por lo que son ampliamente utilizados.

RS232 es el más antiguo y utilizado. Sus principales características son las siguientes:

- Soporta conexiones punto a punto entre puertos seriales, siendo utilizado para conectar periféricos a computadoras, así como para instrumentación industrial.
- Los voltajes para un nivel lógico alto están entre +3 y +15 V, y para un nivel lógico bajo están entre -3 y -15 V.
- Alcanza velocidades de transmisión de 300, 600, 1200, 2400, 4800 y 9600 bps.
- Dependiendo de la velocidad de transmisión, es posible tener cables de hasta 15 m.

El límite de distancia del protocolo RS-232 ha sido mejorada con el estándar RS-485, siendo las siguientes sus principales características:

- Se utiliza una conexión balanceada sin conector físico, permitiendo conectarse hasta 64 dispositivos a la vez, lo cual lo hace ideal para aplicaciones industriales y en ambientes de trabajo como el de un invernadero.
- Utiliza solo dos hilos trenzados, cuya disposición elimina considerablemente el ruido inducido por los campos magnéticos del ambiente.
- Trabaja con señales de 6 V como máximo y de 200 mV como mínimo.
- Velocidad de transmisión máxima: 100 Kbps hasta 1200 m, y 10 Mbps hasta 12 m.

### **2.9 Sistemas de control**

El control climático ha evolucionado desde sistemas manuales que controlaban parámetros de forma independiente a sistemas digitales que controlan diversos parámetros simultáneamente. Esta evolución se divide en seis etapas:

- Controles manuales

- Interruptores de encendido/apagado: los más comunes son los termostatos y los temporizadores. Los primeros pueden ser usados en varios arreglos para obtener dos etapas de calentamiento en el invernadero con una o más etapas de enfriamiento, pero no ofrecen coordinación y son imprecisos.
- Los controles a pasos: trabajan bajo el mismo principio de encendido/apagado de los termostatos, pero tienen la habilidad de controlar variables en varias etapas, recibiendo señales de diferentes tipos de sensores y controlando varios equipos de forma coordinada. Son poco flexibles e imprecisos, pero económicos
- Microprocesadores de propósito particular: son computadoras simples que reciben señales de distintos sensores y ofrecen un control aceptable para la temperatura al utilizar termistores.
- Computadoras de control integral: pueden usarse para obtener y graficar la información de sensores de temperatura, CO<sub>2</sub>, humedad relativa, humedad en el sustrato y de las condiciones externas. Pueden actualizarse fácilmente y pueden utilizar la información de los sensores de forma integrada para controlar todos los equipos del invernadero.
- Computadoras basadas en modelos: contrario al control integrado, se utilizan acciones predictivas, calculándose las necesidades de la planta en el tiempo que se efectúa el control. La diferencia radica en el programa de control más que en los equipos.

## 2.10 Técnicas de control

Para controlar las variables climáticas en un invernadero se utilizan técnicas de control de la teoría clásica (proporcional, derivativo, encendido/apagado, etc.) y de la teoría moderna (lógica difusa, redes neuronales, control estocástico, etc). La selección de la técnica de control empleada, dependerá de la complejidad del proceso a controlar y el tipo de respuesta requerido.

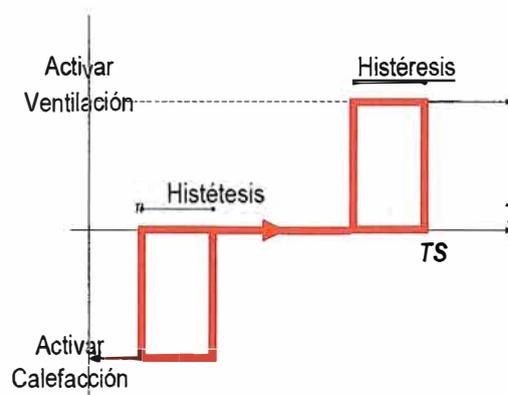


Figura 2.26. Histéresis para proteger a los elementos finales de control  
Fuente: JIEE, Vol. 19, 2005: Control de luz y temperatura de un invernadero

Para un invernadero, la técnica de control encendido/apagado (On/Off) es la más recomendada. Es la técnica más simple que se puede usar, ya que no existen estados intermedios en la salida del controlador. El controlador accionará o apagará su salida cuando el valor leído cruce el setpoint. Cuando el valor de la variable cruza el setpoint para cambiar el estado de la salida, el proceso se vuelve cíclico, pasando continuamente de un valor por debajo del setpoint a un valor por arriba del setpoint. Si esto ocurre, los equipos actuadores que se estén utilizando (contactores, válvulas, etc) se prenden y apagan frecuentemente en periodos de tiempo cortos, lo que puede dañarlos. Para prevenir estos daños, se agrega una ventana de histéresis que provoque que la temperatura exceda el setpoint por un cierto valor antes de que la salida cambie de estado (ver Figura 2.26).

El control On/Off es usado cuando no se requiere un control preciso, en sistemas en los que se puede prender y apagar la energía frecuentemente, o donde la masa del sistema es tan grande que las variables cambian muy lentamente, o para generar una alarma.

### 2.11 Niveles de conexión del sistema de control automatizado

Un sistema de control automatizado tiene equipos y dispositivos diversos, los cuales pueden agruparse jerárquicamente para establecer conexiones adecuadas, definiéndose cuatro niveles, tal como se muestra en la Figura 2.27.

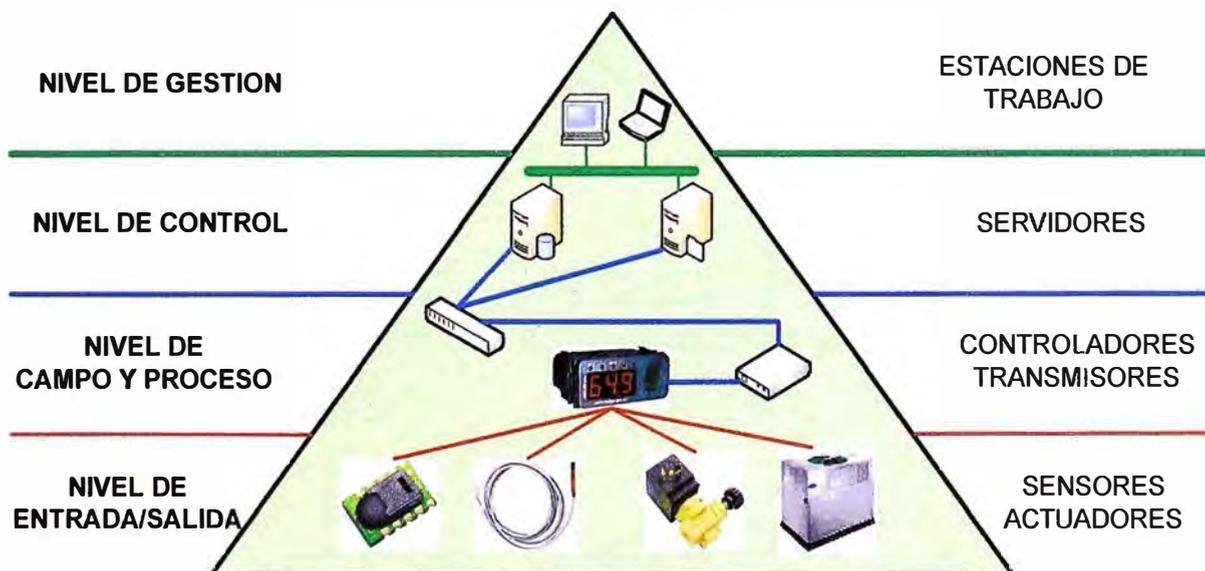


Figura 2.27. Niveles de conexión del sistema de control automatizado

Fuente: Elaboración propia a partir de [www.uco.es/investiga/grupos/eatco/automatica/ihtm/descargar/scada.pdf](http://www.uco.es/investiga/grupos/eatco/automatica/ihtm/descargar/scada.pdf)

- Nivel de entrada/salida: es el nivel más próximo al proceso. Aquí se encuentran los sensores y actuadores, encargados de manejar el proceso productivo y tomar las medidas necesarias para la correcta automatización y supervisión.

- Nivel de campo y proceso: encargado de la integración de pequeños automatismos (bloques de entrada/salida, controladores, transmisores, etc) dentro de subredes. Aquí se encuentra el microcontrolador y adaptador necesario para la transmisión de la información al nivel de control, empleando el bus RS-485.
- Nivel de control: encargado de enlazar y dirigir las distintas zonas de trabajo. Aquí se conecta el servidor, centralizando la información enviada por todos los controladores, registrándola y poniéndola a disposición del nivel de gestión, para lo cual se utiliza una red LAN.
- Nivel de gestión: encargado de integrar los niveles siguientes. Aquí se conectan las estaciones de trabajo, donde el personal encargado (científicos, técnicos, etc) podrá supervisar las variaciones de temperatura, obtener reportes, modificar los setpoints, etc. Para ello se utiliza una red LAN (Local Area Network) o WAN (Wide Area Network).

Finalmente, se puede resumir el proceso de automatización de un invernadero mediante el diagrama mostrado en la Figura 2.28, donde se adiciona el uso de la computadora a un diagrama de control clásico.

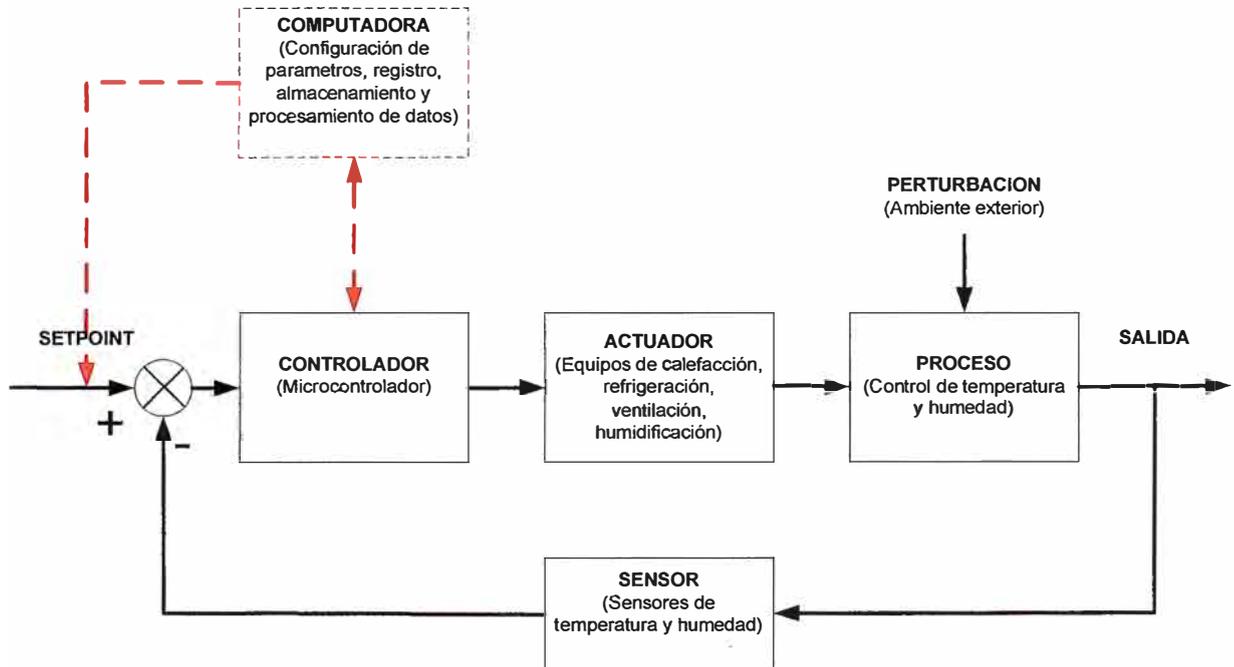


Figura 2.28. Diagrama de bloques del proceso de automatización de un invernadero  
Fuente: Diseño propio

## **CAPÍTULO III**

### **INVERNADEROS DE INVESTIGACION DEL CIP**

#### **3.1 Introducción**

En base al marco teórico conceptual expuesto en el capítulo anterior, a continuación se presenta la aplicación de la instrumentación en los invernaderos de investigación del Centro Internacional de la Papa (CIP), detallando sus condiciones de funcionamiento. Esto permitirá conocer los aspectos tecnológicos que pueden ser mejorados y/o reemplazados, a fin de lograr la automatización de los sistemas de control con una mayor eficiencia en la productividad y manejo de los recursos energéticos.

La principal estación experimental del CIP se encuentra en el distrito de La Molina, departamento de Lima; geográficamente, La Molina se ubica en un área límite entre la parte alta de la región Chala y la parte baja de la región Yunga, con una altitud entre los 350 y 950 metros sobre el nivel del mar, por lo que el clima en este distrito es por lo general templado y saludable, fluctuando la temperatura entre 20° y 27° C durante el día, en cambio las noches son frescas y frías (11° C aproximadamente).

#### **3.2 Tipos de invernaderos en el CIP**

El CIP cuenta con una variedad de invernaderos, los cuales forman parte de los procesos de investigación científica y mejoramiento de la producción que desarrolla la organización, tal como se muestra en la Figura 3.1 y se detalla en la Tabla 3.1



Figura 3.1. Invernaderos del CIP: Tipos 1 y 3  
Fuente: Elaboración propia con fotos tomadas personalmente

Tabla 3.1. Clasificación de los invernaderos del CIP

CARACTERISTICAS	TIPOS DE INVERNADEROS		
	Tipo 1	Tipo 2	Tipo 3
<b>Forma</b>	Arco con punta y pared vertical	Techo de dos aguas, diente de sierra	Techo de dos aguas, diente de sierra
<b>Estructura</b>	Metal	Concreto, madera	Concreto, madera
<b>Cubierta</b>	Malla antiafido	Malla antiafido	Vidrio
<b>Variable medida</b>	Temperatura	Temperatura	Temperatura Humedad
<b>Instrumento de medición</b>	Termómetro	Termómetro	Termistor Psicrómetro
<b>Sistema de actuación</b>	Ninguno	Ninguno	Calefacción Refrigeración Ventilación Humidificación
<b>Monitoreo y registro de datos</b>	Manual	Manual	Manual
<b>Nivel de Automatización</b>	<b>Baja tecnología</b>	<b>Baja tecnología</b>	<b>Media tecnología</b>

Estos invernaderos utilizan un nivel de automatización de baja y media tecnología, cuya ubicación se muestra en la vista aérea de la Figura 3.2.



Figura 3.2. Nivel de automatización de los invernaderos del CIP

Fuente: Elaborado en base a GoogleMaps

### 3.3 Descripción del invernadero de Bioseguridad

Uno de los invernaderos más importantes dentro del CIP es el invernadero de Bioseguridad, donde se desarrolla investigación científica sobre Biotecnología. Este invernadero será usado como modelo para la descripción del nivel de automatización actual, así como para la implementación de las mejoras tecnológicas necesarias para llevarlo a un nivel de automatización de alta tecnología.



Figura 3.3. Vista en perspectiva del invernadero de Bioseguridad  
Fuente: CIP – Area de mantenimiento

La forma de la estructura del invernadero de Bioseguridad es del tipo techo de dos aguas, constituido por una estructura de concreto y madera, utilizando vidrio como material de cubierta. Tiene 19 m de longitud y 13.5 m de ancho, lo que significa un área de trabajo aproximada de 250 m<sup>2</sup>. Esta área está dividida en pequeños cubículos, separados herméticamente y donde se desarrollan investigaciones y experimentos de forma independiente, los cuales requieren su propio microclima; por esta razón, cada cubículo tiene su propio sistema de control independiente, tal como se muestra en la Figura 3.4.

Este invernadero cuenta con un nivel de automatización de media tecnología, cuyas características son detalladas a continuación, utilizando como referencia la clasificación de niveles de conexión del sistema automatizado descrito previamente (Figura 2.29).

#### 3.3.1 Nivel de entrada/salida

- **Sensores y actuadores**

Los sensores de temperatura utilizados son los RTD, específicamente la sonda Pt-100, cuyas características se revisaron en el capítulo anterior, destacando su elevada precisión, lenta respuesta térmica y alto costo económico.

Para mantener las condiciones de microclima deseado, especialmente el nivel de temperatura, en cada cubículo se encuentran instalados como actuadores los siguientes equipos:



Figura 3.4. Plano del invernadero de Bioseguridad  
Fuente: [www.intranet.cip.cgiar.org](http://www.intranet.cip.cgiar.org)

- Calefacción: resistencias.
- Refrigeración: válvula motorizada de agua fría.
- Ventilación: ventilador interno.



Figura 3.5. Equipos actuadores del invernadero de Bioseguridad  
Fuente: Elaboración propia con fotos tomadas personalmente

Estos equipos de actuación requieren energía eléctrica para su funcionamiento, utilizando el esquema de conexión eléctrica que se muestra en la Figura 3.6. Se cuenta además con un sistema de transferencia hacia un generador, como un plan de contingencia cuando se presenta algún problema con el suministro eléctrico.

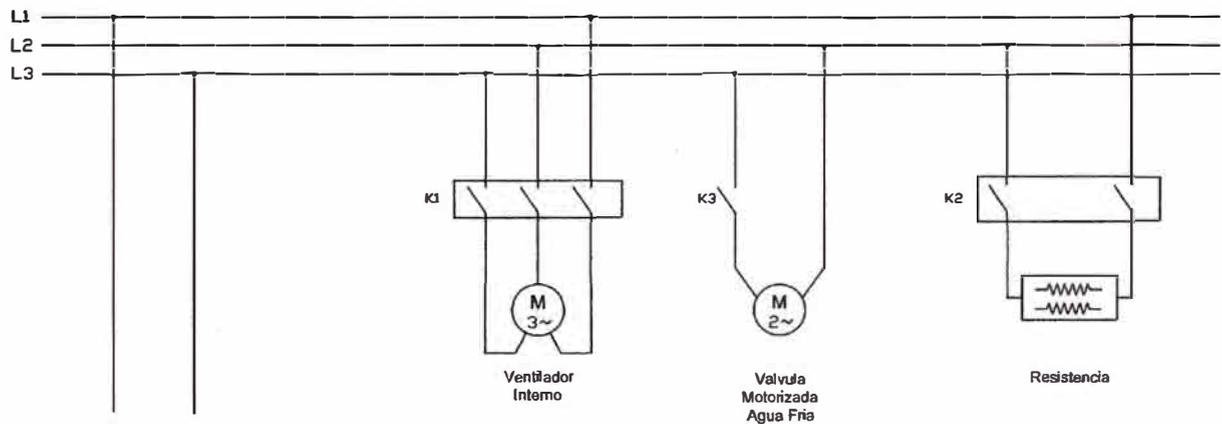


Figura 3.6. Equipos de refrigeración y calefacción – esquema eléctrico  
Fuente: CIP – Area de Mantenimiento

### 3.3.2 Nivel de campo y proceso

- **Controladores**

El sistema de control de temperatura está basado en termostatos electrónicos, los cuales utilizan el sensor RTD como parte de un divisor de voltaje acoplado a una de las entradas de un comparador de voltaje, el que a su vez acciona un relé que conecta o desconecta el elemento actuador a la línea de potencia. Con otro divisor de voltaje que se

cambia manualmente, se mueve el voltaje de referencia del comparador y sirve para establecer el valor de temperatura deseado. La Figura 3.7 ilustra el funcionamiento básico del termostato electrónico utilizado.

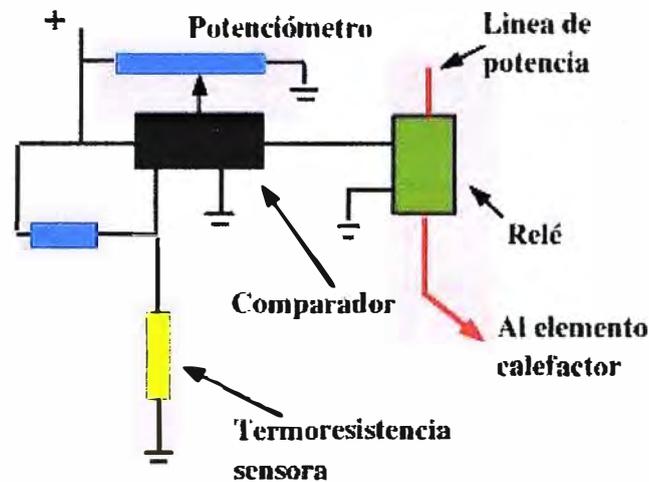


Figura 3.7. Esquema de un termostato electrónico

Fuente: <http://www.sabelotodo.org/electrotecnia/termostatoelectronico.html>

El principio de funcionamiento es simple: si la temperatura cae por debajo del límite inferior se activa el relé, si la temperatura sobrepasa el límite superior se desactiva el relé; ambos puntos son configurables, por lo que se puede lograr el punto de histéresis (estado intermedio) deseado.

Para la disminución de la temperatura, el equipo de refrigeración está conectado entre los contactos Común y Normal Cerrado del relé. De esta forma, cuando la temperatura aumenta hasta el límite superior de la configuración, el relé conecta el equipo de refrigeración para enfriar el ambiente hasta alcanzar el límite inferior, momento en que el relé desconecta el equipo.

Para el aumento de la temperatura, el equipo de calefacción está conectado entre los contactos Común y Normal Abierto del relé. De esta forma, cuando la temperatura disminuye hasta el límite inferior de la configuración, el relé conecta el equipo de calefacción para calentar el ambiente hasta alcanzar el límite superior, momento en que el relé desconecta el equipo.

### 3.3.3 Nivel de control

- **Registro de datos**

Las variaciones de temperatura son registradas por demanda y de forma manual, cuando lo requieren los usuarios de cada cubículo, utilizando dispositivos denominados “registradores de datos” (ver Figura 3.8). Dichos dispositivos son colocados dentro del

cupículo durante el tiempo deseado, registrando las variaciones de temperatura a un intervalo de tiempo determinado, para posteriormente transferir esa información a la computadora del usuario.

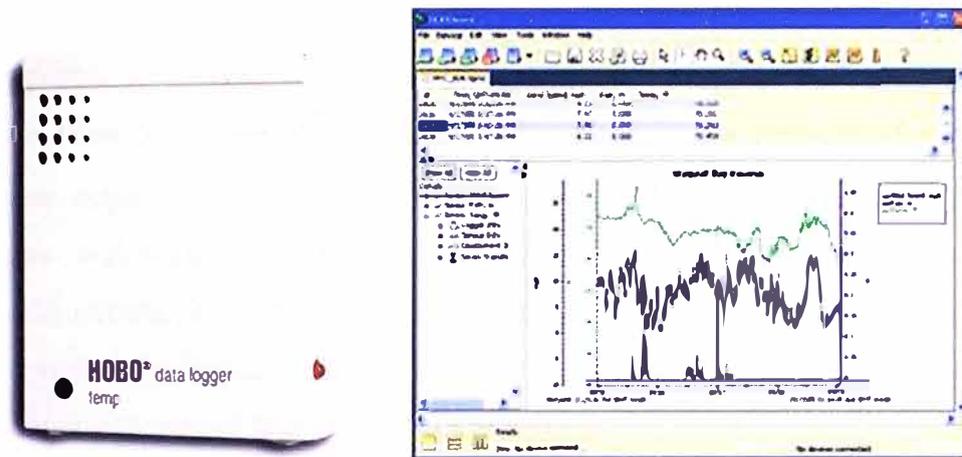


Figura 3.8. Registrador de datos Hobo y software de lectura de datos

Fuente: <http://www.pce-iberica.es/medidor-detalles-tecnicos/logger-de-datos/registrador-de-datos-hobo-U12-001.htm>

Este registro de datos es completamente independiente del sistema de control de temperatura compuesto por los sensores, termostatos y equipos actuadores; el registrador de datos cuenta con su propio sensor de temperatura interno, el cual no tiene la misma calibración que el sensor del sistema de control (RTD), por lo que los valores registrados entre ambos sistemas pueden diferir ligeramente.

Bajo este esquema de funcionamiento, no se requiere de una red de comunicación para la transmisión de datos, ni de un servidor para el almacenamiento centralizado de la información, ya que los datos obtenidos por el registrador son transferidos directamente a la computadora del usuario por medio de una interfase USB.

### 3.3.4 Nivel de gestión

- **Monitoreo**

El valor de la temperatura actual se muestra en una pantalla LCD, ubicada al interior de cada cubículo. El monitoreo de este valor es realizado manualmente, para lo cual el personal encargado se acerca al invernadero con cierta frecuencia y revisa el valor mostrado en la pantalla, así como que no se haya generado ninguna alarma por alguna falla en el sistema de control; esta revisión es realizada por los responsables de cada experimento (dentro del horario de oficina) y por el personal de seguridad (fuera del horario de oficina).

Cuando se detecta alguna falla en el sistema de control, se tiene que avisar al área de mantenimiento para la revisión correspondiente, proceso que es más complejo fuera del horario de trabajo.

- **Reportes**

Los reportes se generan en cada computadora donde se hace la transferencia de la información, usando diversas herramientas (software propietario, Microsoft Excel, etc).

Bajo este esquema, no se tienen facilidades para el almacenamiento automático de las temperaturas registradas durante el desarrollo de los experimentos, monitoreo y configuración remota de las variables (información importante para los investigadores) o para la generación de alertas en caso la temperatura se encuentre fuera del rango requerido (información crítica para el área de mantenimiento).

La Figura 3.9 ilustra el diagrama de bloques de este esquema, donde se nota claramente la falta de relación entre el bloque de control y el bloque de registro y monitoreo de datos. La integración de ambos bloques ofrecerá como resultado la automatización del invernadero (Figura 2.30).

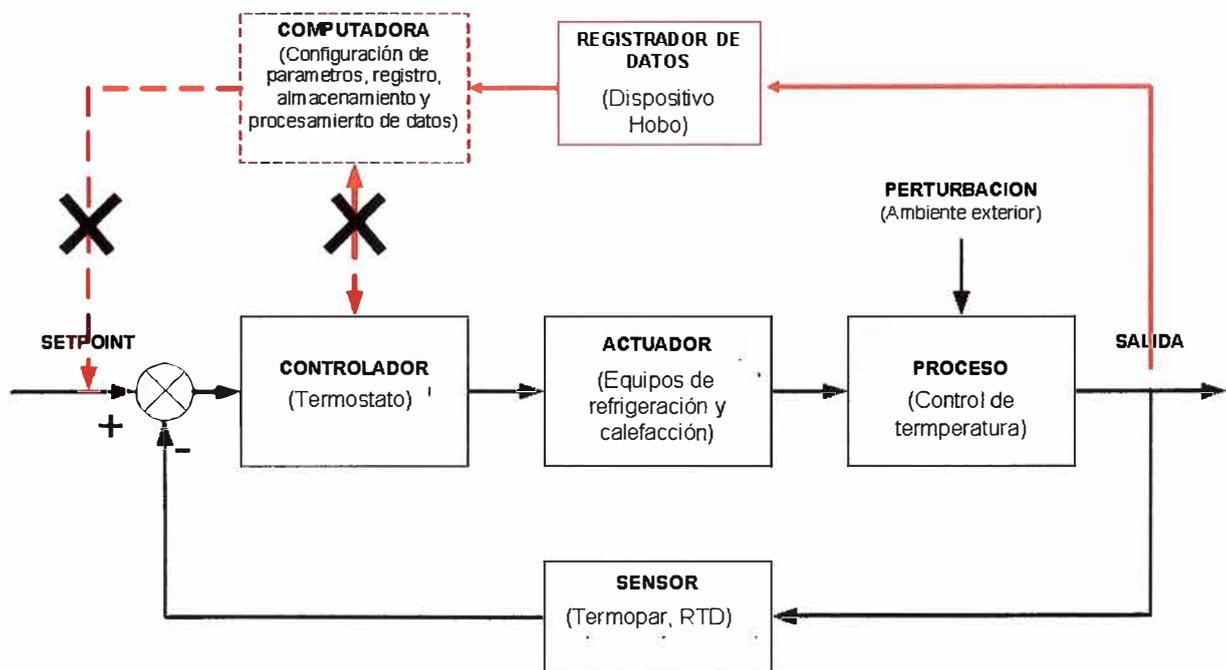


Figura 3.9. Diagrama de bloques del sistema de control de temperatura del invernadero de Bioseguridad - CIP

Fuente: Diseño propio

### 3.4 Análisis del sistema de control

La Tabla 3.2 resume el análisis de ventajas y desventajas del sistema de control utilizado en el CIP, basado en la información proporcionada previamente.

Tabla 3.2. Análisis del sistema de control actual

Parámetro	Ventajas	Desventajas
<b>Sensores</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Se utiliza sensor Pt-100, con elevada precisión y linealidad</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Alto costo económico.</li> </ul>
<b>Actuadores</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Los equipos actuales de refrigeración y calefacción proporcionan un microclima adecuado.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Antigüedad de uso.</li> </ul>
<b>Controladores</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Se utiliza termostato electrónico, sencillo de instalar y configurar.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>No tiene interfase para registro de datos y configuración de otros parámetros.</li> </ul>
<b>Registro de datos</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Los usuarios registran los datos solo cuando lo necesitan, utilizando un dispositivo registrador de datos, fácil de instalar y configurar.</li> <li>No se requiere equipos adicionales ni red de datos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Los datos registrados no son generados por el sistema de control, por lo que difieren de los valores medidos por este sistema.</li> </ul>
<b>Almacenamiento de la información</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>No se requiere un servidor ni red de datos para la transferencia y centralización de información.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Los datos registrados se almacenan en forma individual, en la computadora del propio usuario.</li> <li>Los datos registrados no están centralizados en un servidor, exponiéndose a pérdida de información por no tener un sistema de copia de seguridad.</li> </ul>
<b>Monitoreo</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Manual, no se requiere computadora ni red de datos para el monitoreo.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Expuesto a errores humanos.</li> <li>Generación manual de alarmas ante fallas del sistema, proceso que se complica fuera del horario de trabajo.</li> </ul>
<b>Reportes</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>No se requiere de una base de datos para grabar los datos y generar reportes, por lo tanto no se necesita licencia de software adicional.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>La generación de reportes no esta regulada, ya que solo se utilizan las herramientas disponibles en la computadora del usuario.</li> </ul>

A partir de este análisis, se puede concluir que el CIP tiene la infraestructura y equipamiento necesario para un control adecuado del microclima dentro de sus invernaderos, pero carece de un sistema de registro de datos y monitoreo automatizado. Se requiere la integración de ambos sistemas para ofrecer mejores herramientas de trabajo a los investigadores de la organización

## **CAPÍTULO IV**

### **AUTOMATIZACION DE LOS SISTEMAS DE CONTROL DE TEMPERATURA EN LOS INVERNADEROS DE INVESTIGACION DEL CIP**

#### **4.1 Introducción**

El control del microclima de invernaderos ha evolucionado enormemente desde los sencillos termostatos, pasando por los controladores analógicos, hasta llegar al control digital usando computadoras, cuya gran capacidad de procesamiento de información permite establecer algoritmos más complejos a un costo cada vez menor. Adicionalmente, esto confiere una mayor relevancia al rol de las Tecnologías de la Información, ya que se requiere de recursos adicionales como conectividad, ancho de banda, espacio de almacenamiento, generación de reportes, acceso remoto, etc.

Basados en esta evolución y en el impacto de las Tecnologías de la Información, a continuación se presenta el proceso de automatización a la infraestructura actual, tanto a nivel de hardware (sensores, controladores, equipos de comunicación) como software (registro de datos, monitoreo remoto, alertas virtuales). Adicionalmente se plantea extender esta automatización a otros ambientes donde se requiera un control y monitoreo de temperatura (cámaras, herbarios, etc).

#### **4.2 Solución y nivel de automatización propuesto**

Para mantener las condiciones deseadas de temperatura en el invernadero de Bioseguridad, particularmente en cada cubículo, es indispensable tener un sistema de control capaz de detectar las variaciones de ese parámetro, y que además pueda de manera inmediata enviar señales de control a los equipos actuadores (refrigeración y calefacción); adicionalmente, el sistema debe generar alarmas físicas (visual, audible) y virtuales (mensajes por correo electrónico) cuando los valores de temperatura salen de un rango determinado, para que las personas a cargo puedan atender la emergencia suscitada y evitar un problema mayor.

Teniendo en cuenta estas consideraciones, es necesario tener sensores capaces de operar en el rango de temperatura necesario para los trabajos de investigación, así como un

controlador que reciba la información detectada por los sensores y que facilite el envío de datos tanto a los actuadores como a una computadora, la cual a su vez posea un software que envíe diferentes mensajes por medio de la red interna así como Internet, alertando cuando la temperatura esta fuera del rango deseado. El registro detallado de temperatura, así como el acceso remoto, son herramientas con las que debe contar el software, las cuales serán muy útiles para el análisis y generación de reportes por parte de los investigadores.

Como se ha explicado en el capítulo anterior, cada invernadero puede tener su propio nivel de automatización, de acuerdo a las características del cultivo e investigación desarrollada, no siendo necesario siempre el nivel tecnológico más elevado. Adicionalmente, se identificó que los invernaderos del CIP tienen niveles de automatización de baja y media tecnología (Tabla 3.1).

El objetivo principal de la solución es proporcionar a la organización de un sistema de control de temperatura más confiable y con mayores facilidades de trabajo para los investigadores (registro permanente de datos, generación de reportes históricos y en línea, acceso remoto para monitoreo y configuración, manejo de alarmas virtuales, etc). Esto se lograra teniendo invernaderos con nivel de automatización de media y alta tecnología, cuya ubicación se muestra en la vista aérea de la Figura 4.1.



Figura 4.1. Nivel de automatización propuesto en los invernaderos del CIP

Fuente: Elaborado en base a GoogleMaps

La Tabla 4.1 resume las consideraciones mínimas para contrarrestar las desventajas detectadas en el análisis del sistema de control actual de la Tabla 3.2.

Tabla 4.1. Consideraciones mínimas para la automatización del sistema de control de temperatura

Parámetro	Consideraciones mínimas
<b>Sensores</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Se necesitan sensores con un nivel aceptable de precisión, sin llegar a niveles de calibración.</li> <li>• Económicos y de fácil instalación.</li> </ul>
<b>Actuadores</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Los equipos de refrigeración y calefacción deben tener la potencia necesaria para proporcionar un microclima adecuado.</li> </ul>
<b>Controladores</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Facilidad de instalación, configuración y mantenimiento.</li> <li>• Compatible con los niveles de señal entregados por los sensores, contando con la etapa de acondicionamiento de señal necesaria.</li> <li>• Registro de datos, contando con las etapas de conversión AD y transmisión.</li> <li>• Técnica de control encendido/apagado con rango de histéresis configurable.</li> </ul>
<b>Registro de datos</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Automático.</li> <li>• Datos generados constantemente por el controlador, a intervalos de tiempo definidos por el usuario.</li> </ul>
<b>Almacenamiento de la información</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Transmisión de datos registrados hacia un servidor, por medio de una red de datos.</li> <li>• Cantidad de datos limitada solo por la capacidad de almacenamiento del servidor (tamaño del disco duro).</li> </ul>
<b>Monitoreo</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Automático, mediante la configuración de alarmas virtuales ante fallas del sistema.</li> <li>• Acceso remoto para monitoreo y configuración.</li> </ul>
<b>Reportes</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• La generación de reportes mediante software propietario de libre distribución.</li> </ul>

### 4.3 Proceso de automatización

Para el proceso de automatización del sistema de control de temperatura del invernadero de Bioseguridad, así como de los ambientes que lo requieran, se va a utilizar como referencia la clasificación de niveles de conexión del sistema automatizado descrito previamente ((Figura 2.29).

#### 4.3.1 Nivel de entrada/salida

##### • Sensores y actuadores

La Tabla 4.2 contiene los principales criterios de selección del sensor de temperatura, con los valores para cada tipo de sensor (termocupla, RTD y termistor), así como el valor requerido para la solución propuesta.

Tabla 4.2. Comparación de criterios de selección para el sensor de temperatura

<b>Criterio</b>	<b>Termocupla</b>	<b>RTD</b>	<b>Termistor</b>	<b>Valor requerido</b>
<b>Rango de temperatura</b>	-200 °C a 2000 °C	-250 °C a 850 °C	-100 °C a 300°C	Las plantas producidas en un invernadero necesitan temperaturas entre los 10 °C y 30 °C.
<b>Precisión</b>	Mayor que 1 °C	0.03 °C	0.1 °C	Debido al rango de temperatura a manejar, así como la ventana de histéresis requerida, la precisión instrumental no debe ser mayor a 1 °C.
<b>Sensibilidad</b>	Baja	Media	Alta	Se requiere una buena sensibilidad, ya que el intercambio de energía con el exterior genera una temperatura dinámica.
<b>Respuesta térmica</b>	Rápida	Lenta	Media	La velocidad de respuesta a los cambios de temperatura debe ser rápida, por lo que el sensor debe tener un tamaño reducido y una masa pequeña, lo cual también ayudará a facilitar su instalación.
<b>Costo</b>	Bajo	Alto	Bajo a moderado	Se requiere un costo moderado, ya que se dispone de un presupuesto conservador.

Un solo tipo de sensor no puede cumplir con todos los requerimientos. Por ejemplo, el sensor más preciso tiene una respuesta térmica lenta, por lo que la selección del tipo de sensor apropiado se realizará priorizando los valores requeridos de la Tabla 4.2.

En ese sentido, el tipo de sensor que cumple en primer lugar con la mayor parte de los criterios de selección es el termistor NTC; este resultado concuerda con la tendencia de aplicación de los tipos de sensores: el termopar es usado en aplicaciones industriales, para medir temperaturas en hornos, sistemas de calefacción, etc; el termistor es usado mayormente en aplicaciones de temperatura humana, tales como congeladores, incubadoras, etc; el RTD es usado casi exclusivamente en aplicaciones de calibración por su gran precisión.

La Tabla 4.3 contiene el análisis de esos valores y el resultado de la selección

Tabla 4.3. Análisis para la selección del sensor de temperatura

Criterio	Análisis	Resultado
<b>Rango de temperatura</b>	Los tres tipos de sensor abarcan el rango requerido, pero tiene prioridad aquel que tiene el rango más cercano.	1. Termistor 2. RTD 3. Termopar
<b>Precisión</b>	El termistor y RTD tienen la mejor precisión, pero no es indispensable una medición muy precisa. Es suficiente con el nivel de precisión ofrecido por el termistor.	1. Termistor 2. RTD 3. Termopar
<b>Sensibilidad</b>	Se requiere la mayor sensibilidad posible. En ese aspecto, el termistor ofrece mejores resultados.	1. Termistor 2. RTD 3. Termopar
<b>Respuesta térmica</b>	El termopar ofrece la mejor respuesta.	1. Termopar 2. Termistor 3. RTD
<b>Costo</b>	El termopar es el más económico.	1. Termopar 2. Termistor 3. RTD

Se recomienda utilizar un dispositivo que incorpore un sensor de temperatura (termistor NTC) y un sensor de humedad (capacitivo o resistivo), de modo que ambas variables sean medidas físicamente en un mismo punto, reduciendo el cableado.

Para la instalación de los sensores, se deben tener en cuenta las siguientes recomendaciones:

- El cableado de los sensores debe estar separado del cableado de los equipos actuadores y suministro eléctrico, para reducir las interferencias eléctricas. Nunca colocar el cableado de los sensores en los mismos conductos utilizados para otros voltajes; esto sería una violación del código eléctrico y causaría una peligrosa interferencia con el sistema de control.
- Evitar que los sensores entren en contacto con cualquier parte de la estructura, como un poste que emite una radiación de calor y provocaría una falsa lectura de la temperatura; no colocar el sensor alrededor de algún equipo que causaría falsas lecturas, tal como un calentador de aire directamente sobre el sensor.

En relación a los actuadores, la infraestructura actual de los cubículos ya cuenta con diversos equipos actuadores, según se indica en el ítem 3.3.1, los cuales no requieren ser reemplazados por el momento. Reemplazarlos incrementaría notablemente el presupuesto de la solución, por lo que se sugiere el mantenimiento preventivo de los mismos y proceder a su reemplazo paulatino, conforme se presenten fallas irreparables en estos equipos.

### 4.3.2 Nivel de campo y proceso

#### • Controladores y transmisores

La Tabla 4.4 contiene los principales criterios de selección del controlador de temperatura, con los valores requerido para la solución propuesta.

Tabla 4.4. Análisis para la selección del controlador de temperatura

Criterio	Descripción	Valor requerido
<b>Rango de temperatura</b>	Tanto la temperatura de operación como la de control deben encontrarse dentro del rango manejado en un invernadero.	T. operación: 0 – 40 °C T. control: 10 – 30 °C
<b>Instalación y configuración</b>	Facilidad de instalación, configuración y mantenimiento, para no depender de personal altamente especializado para la ejecución de esas tareas.	Facilidad para agregar controladores en otros ambientes, ampliando la cobertura de la solución.
<b>Entrada analógica</b>	Compatible con los niveles de señal analógica entregados por los sensores, incluyendo una etapa de acondicionamiento de señal.	Para la señal del termistor, se debe tener una etapa de linealización/amplificación.
<b>Conversión Analógica Digital</b>	Es suficiente con una resolución baja, ya que el rango de variación de temperatura no es muy grande y no se requiere demasiada exactitud.  La frecuencia de muestreo también puede ser baja, ya que la variación de la señal (temperatura) es lenta.	Resolución: 8 bits. Frecuencia: 10 KHz
<b>Técnica de control</b>	Depende de la complejidad del proceso a controlar (variación de temperatura) y el tipo de respuesta deseado.  La variación de la temperatura es un proceso lento. La respuesta deseada (mantener la temperatura a un rango determinado), puede demorar algunos minutos.	Control encendido/apagado con ventana de histéresis.
<b>Salida de alimentación de carga</b>	Con el nivel de corriente adecuado para alimentar los equipos de refrigeración y calefacción.	Corriente: 5 A
<b>Interfase para transmisión de datos</b>	Compatible con algún protocolo de comunicación estándar para conexión con una computadora.	Protocolo: RS-232, RS-422, RS-485
<b>Interfase gráfica</b>	Para la configuración de los parámetros de control y visualización del valor actual de temperatura.	Pantalla y teclado
<b>Costo</b>	Presupuesto limitado, ya que se trata de un organismo sin fines de lucro.	Bajo

Las opciones disponibles en el mercado están basadas en dos tipos de controlador: Controladores Lógicos Programables (PLC) y controladores basados en microcontrolador. Ambas opciones pueden cumplir con los valores requeridos de la Tabla 4.4. Un análisis desde el punto de vista electrónico de la técnica de control, ayudará a seleccionar la opción correcta en base a los siguientes criterios:

- La variación de la temperatura dentro de un invernadero es un proceso bastante lento. Ante una perturbación se puede permitir un tiempo del orden de minutos hasta volver al rango deseado (constante de tiempo elevada)
- Los trabajos de investigación a desarrollarse dentro del invernadero requieren de una temperatura de referencia, sobre la cual puede haber una variación de algunos °C. No se necesita mantener temperatura exacta, puede oscilar dentro de un determinado rango definido por la ventana de histéresis (error en estado estacionario diferente de cero).
- Ante una perturbación, un valor de temperatura fuera del rango establecido es permitido temporalmente, siempre que sea detectado en un tiempo prudencial por el sistema de monitoreo y generación de alarmas virtuales (sobrepico manejable).

Un controlador PID puede optimizar estos parámetros, pero el control de temperatura en el invernadero realmente no requiere ese nivel de optimización, Un simple controlador del tipo encendido/apagado, puede ofrecer la respuesta deseada, tal como se muestra en la Figura 4.2.

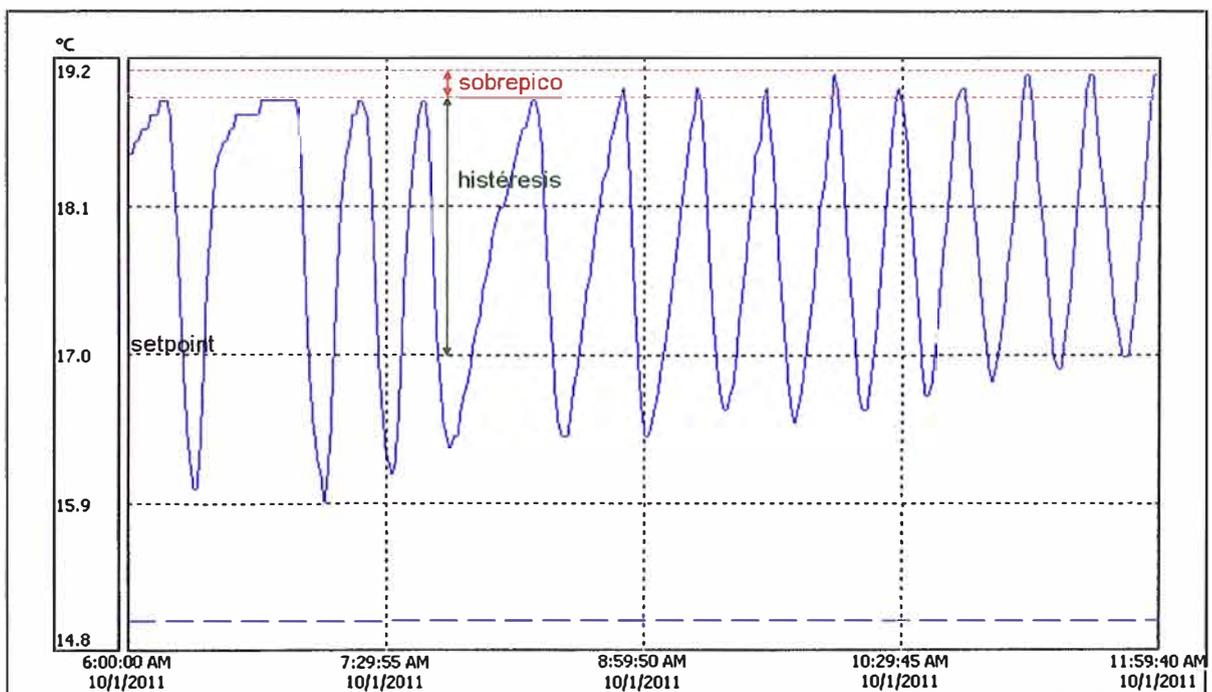


Figura 4.2. Variación de temperatura típica en un invernadero  
Fuente: Elaboración a partir de reporte de variación de temperatura

Un análisis adicional de costo-beneficio, especialmente en lo referente a las facilidades de implementación y costo económico, ofrece como resultado que el controlador basado en microcontrolador es la opción más recomendable.

La Figura 4.3 muestra el controlador MT-530 del fabricante Fullgauge, el cual será usado en la solución propuesta. Los detalles técnicos de este controlador se encuentran en el Anexo C.

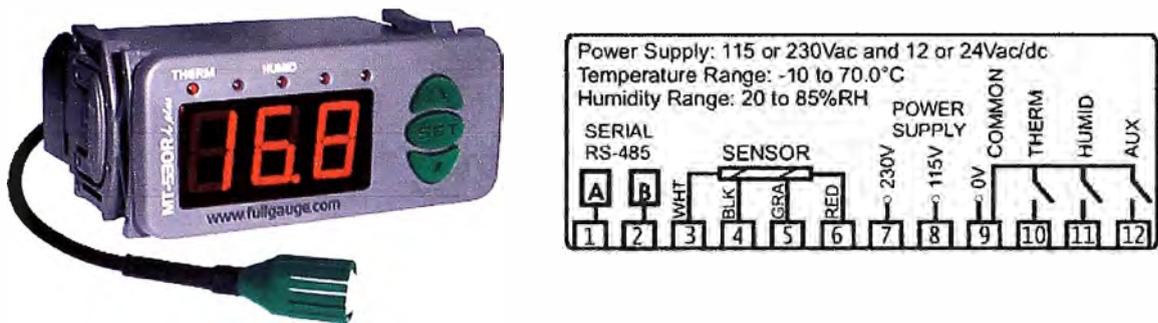


Figura 4.3. Controlador de temperatura MT-530 con sensor y esquema de conexión interna  
Fuente: [www.fullgauge.com](http://www.fullgauge.com)

El controlador debe ofrecer la posibilidad de conexión a una computadora para el registro y procesamiento de la información. Para realizar esta conexión, el controlador debe ser compatible con algún protocolo de comunicación para la adquisición de datos. La Tabla 4.5 contiene los criterios para seleccionar el tipo de comunicación que se debe utilizar: paralelo o serial.

Tabla 4.5. Criterios de selección del tipo de comunicación

Criterio	Paralelo	Serial
Numero de líneas	Mayor a 1	1
Distancia de cobertura	Pequeña	Grande
Velocidad promedio	Orden Mbps	Orden Kbps
Tipo de bus	Interno	Externo

La comunicación entre los controladores y la computadora debe cubrir distancias grandes (mayores a 100 m), utilizando un bus de tipo externo, por lo que la comunicación del tipo serial es la mas adecuada para esta aplicación.

La Tabla 4.6 contiene los criterios de selección del protocolo de comunicación serial. La mayor cantidad de terminales (existen interfases que permiten conectar hasta 256 terminales), longitud de cable y velocidad de transmisión del protocolo RS-485, lo hacen muy apropiado para la solución propuesta, especialmente en lo relacionado a facilidades de instalación.

Tabla 4.6. Análisis para la selección del protocolo de comunicación

	<b>RS-232 (EIA 232)</b>	<b>RS-422 (EIA 422)</b>	<b>RS-485 (EIA 485)</b>
<b>Numero de terminales</b>	1	10	32
<b>Longitud máxima de cable</b>	15 m	1200 m	1200 m
<b>Velocidad de transmisión máxima</b>	20 kbps	10 Mbps	10 Mbps
<b>Carga por transmisor</b>	3 k $\Omega$ a 7 k $\Omega$	100 $\Omega$	54 $\Omega$
<b>Rango de tensión de entrada en receptor</b>	$\pm 15$ V	$\pm 7$ V	-7 a 12 V
<b>Sensibilidad del receptor</b>	$\pm 3$ V	$\pm 200$ mV	$\pm 200$ mV

Desde el punto de vista electrónico, este protocolo se fundamenta en la transmisión de datos en forma diferencial. Es decir, por ambos cables viaja la misma información, pero desfasada 180° en un cable respecto al otro. De esta forma, cualquier interferencia que pueda introducirse en el cableado lo hará en ambos hilos por igual, con la misma polaridad y amplitud. En el terminal de destino, sea en la computadora o en el controlador, las señales se restituyen en polaridad y los picos de ruido que se habían introducido con la misma polaridad en ambos cables, al invertirse las señales, se neutralizan y eliminan entre sí, y se recupera de esta forma la señal útil que se desea transmitir, tal como se muestra en la Figura 4.4

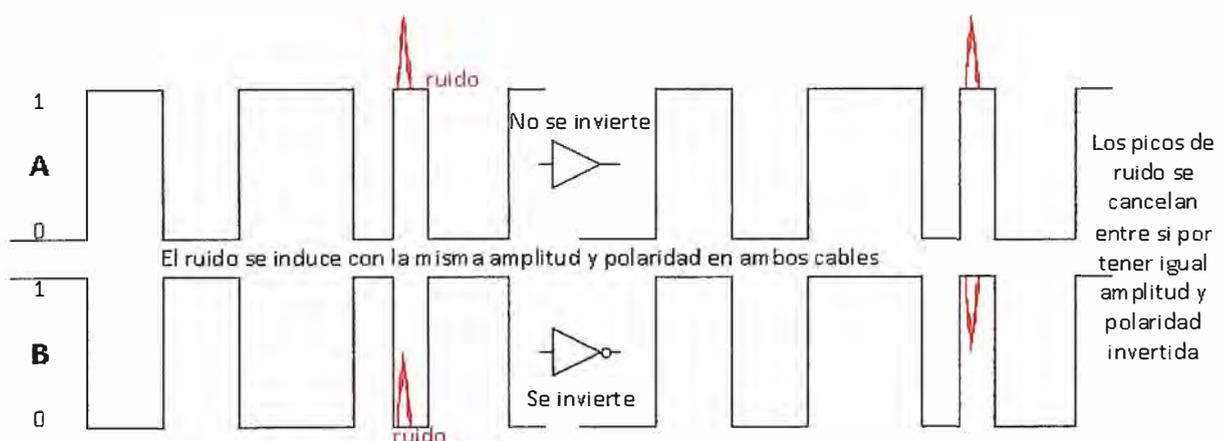


Figura 4.4. Transmisión de datos del protocolo RS-485

Fuente: Elaboración propia a partir de <http://www.neoteo.com/rs485-domotica-al-alcance-de-tu-mano-15810>

Entonces, el cableado de la red de campo interconectará todos los controladores serialmente por medio de un cable de par trenzado, empleando el protocolo RS-485.

Por medio del bus RS-485, la red de controladores debe conectarse con una computadora para el registro y almacenamiento de datos; este equipo puede ser una estación de trabajo o un servidor, según el esquema de conexión que se muestra en la Figura 4.5.



Figura 4.5. Uso del bus RS-485 para comunicación con una computadora  
Fuente: Diseño propio

La forma más simple y económica sería utilizar una estación de trabajo, ubicada en las inmediaciones del invernadero, con las ventajas y desventajas mostradas en la Tabla 4.7.

Tabla 4.7. Características del uso de la estación de trabajo

Ventajas	Desventajas
Ubicación cerca del invernadero.	Ubicación en un lugar sin las condiciones ambientales y de seguridad adecuadas para funcionar 24 horas diarias.
Cableado más corto.	
Conexión directa por puerto serial o USB.	Datos dispersos y sin administración adecuada.
Independiente para cada invernadero.	

Para superar las desventajas del uso de una estación de trabajo y completar el proceso de automatización, se requiere que los datos registrados por el bus RS-485 puedan estar disponibles para los usuarios que lo necesiten, de una manera segura y confiable, las 24 horas del día. Para lograr esto, es necesario utilizar un servidor dedicado, alojado en la sala de servidores de la organización, conectando la red RS-485 con la red TCP (LAN). Para que la señal transmitida por los controladores llegue hasta la ubicación de la sala de servidores, la cual se encuentra alejada de los invernaderos, se puede aprovechar los puntos de red de computo que ya se encuentran desplegados por todo el campus de la organización (incluso en los alrededores de los invernaderos) y utilizar un convertidor RS-485/TCP. El esquema de conexión se muestra en la Figura 4.6.

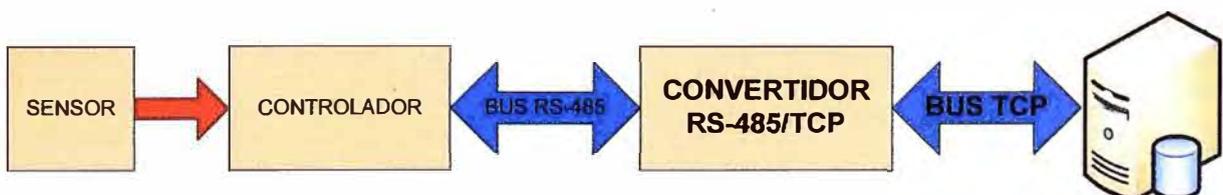


Figura 4.6. Uso de convertidor RS-485/TCP para comunicación con un servidor  
Fuente: Diseño propio

Utilizando este convertidor, se evita tener un cableado muy extenso para la red RS-485 y más bien se integra esta red con la red TCP (LAN). La Figura 4.7 muestra el convertidor TCP-485 del fabricante Fullgauge, cuyos detalles técnicos se encuentran en el Anexo C.



Figura 4.7. Convertidor TCP-485

Fuente: [www.fullgauge.com](http://www.fullgauge.com)

### 4.3.3 Nivel de control

- **Servidor con software de control y red LAN**

La Tabla 4.8 contiene los principales criterios de selección del software, con las características requeridas para la solución propuesta.

Tabla 4.8. Análisis para la selección del software de control

<b>Criterio</b>	<b>Descripción</b>	<b>Característica requerida</b>
<b>Instalación y configuración</b>	Requerimientos de hardware y software en el servidor.	Compatible con la actual plataforma de la organización (Microsoft Windows Server). Sin excesivas exigencias de hardware.
<b>Interfase</b>	Conexión del usuario.	Interfase gráfica intuitiva, fácil de usar.
<b>Monitoreo</b>	Visualización de valores actuales de temperatura.	Automático, mediante el envío de alarmas virtuales ante fallas del sistema de control.
<b>Registro de datos</b>	Registrar los datos de temperatura generados por los sensores.	Automático, 24 horas al día, almacenando la información en el servidor.
<b>Reportes</b>	Generación de reportes a partir de los datos almacenados.	Reportes en formatos de texto y gráfico.
<b>Almacenamiento de datos</b>	Datos almacenados en el disco duro del servidor.	Conexión cliente-servidor, empleando una base de datos estándar, compatible con SQL para una futura integración con otros sistemas de la organización.
<b>Costo</b>	Presupuesto limitado, ya que se trata de un organismo sin fines de lucro.	Sin generar costos por licencias de software de control o base de datos.

La Figura 4.8 muestra la ventana principal del software de control y monitoreo Sitrad, junto con los valores registrados por el controlador correspondiente en el tablero de control. Este software cumple los requerimientos mínimos establecidos, contando adicionalmente con las siguientes características:

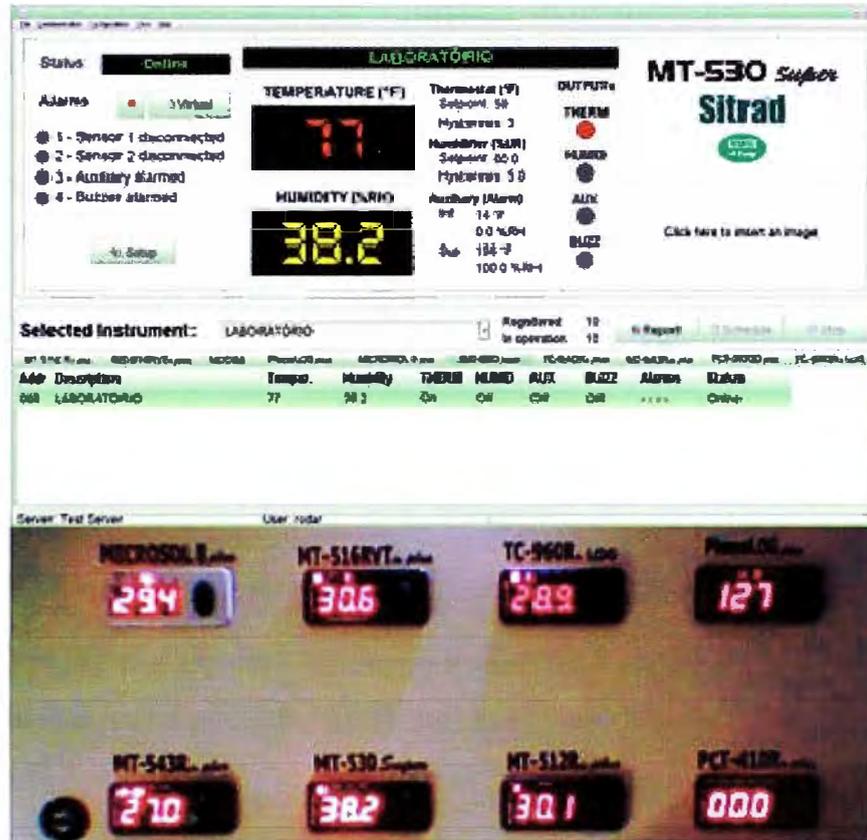


Figura 4.8. Software de control y monitoreo Sitrad  
Fuente: [www.fullgauge.com](http://www.fullgauge.com)

- Diseñado de acuerdo a los últimos avances en el control de invernaderos, regulando los factores ambientales durante el crecimiento de las plantas, recolectando y procesando los datos según el propósito deseado (investigación científica).
- Programado en un lenguaje de alto nivel, soportando la programación por eventos y facilitando el manejo de ventanas, siendo compatible con las aplicaciones existentes en la organización, que emplean como plataforma al sistema operativo Windows.
- Establece niveles de acceso por medio de perfiles de usuario, de manera que los usuarios pueden modificar o monitorear solo los procesos que les corresponden (por ejemplo, monitorear solo el controlador instalado en un cubículo determinado).
- El usuario puede programar las diferentes alarmas y los valores en los cuales cada una de éstas debe activarse. Entre las alarmas virtuales disponibles se tiene el envío de un mensaje por correo electrónico a las personas responsables de cada cubículo, así como

al personal de mantenimiento, cuando los parámetros salgan de los límites del rango deseado como consecuencia de alguna falla en el sistema de control.

- Los datos recibidos son grabados en archivos con formato de banco de datos (archivos con extensión .db), ofreciendo integridad y agilidad durante el análisis de datos.
- Cuenta con tres módulos, los cuales se instalan en los diferentes equipos que son parte del sistema: Local (servidor), Remote (computadora personal) y Mobile (teléfono celular). Es completamente gratuito para todos sus módulos.
- Utiliza transmisión de datos encriptados entre sus tres módulos (Local, Remote y Mobile), es decir que los datos transmitidos entre las computadoras son entendidos solamente por los módulos del software, suministrados en la gestión de datos.
- Durante el acceso al servidor, se registra la dirección IP de la estación de trabajo cliente, el usuario y la hora de la conexión realizada al módulo, lo que permite verificar quién y cuándo accedió a los controladores.
- El protocolo de comunicación usado es TCP/IP, por medio del puerto 5001, el cual puede ser cambiado según la configuración empleada en el firewall de la organización.

Los detalles técnicos de este software así como las especificaciones técnicas de los equipos donde se instalarán los diferentes módulos (Local, Remote y Mobile), se encuentran en el Anexo D.

La red LAN con la que cuenta actualmente la organización es una red Ethernet 1000BaseT, con las características mostradas en la Tabla 4.9.

Tabla 4.9. Características de la red LAN

<b>Velocidad</b>	1000 Mbps
<b>Cableado</b>	Distribución de campus con fibra óptica multimodo. Distribución de edificio con UTP categoría 5e/6.
<b>Distancia</b>	100 m.
<b>Topología</b>	Estrella, full duplex.
<b>Equipos de conexión</b>	Switches capa 2, 3

Esta infraestructura de red garantiza un canal de comunicación adecuado y ofrece alternativas de configuración en caso se presenten problemas por el tráfico generado por la aplicación.

#### 4.3.4 Nivel de gestión

- **Red LAN/WAN, estaciones de trabajo y software cliente**

El software de control y monitoreo del servidor tiene una versión cliente que debe ser instalada en cada una de las estaciones, permitiendo el acceso tanto desde la red LAN como desde la WAN, tal como muestra el diagrama de bloques de la Figura 4.9.

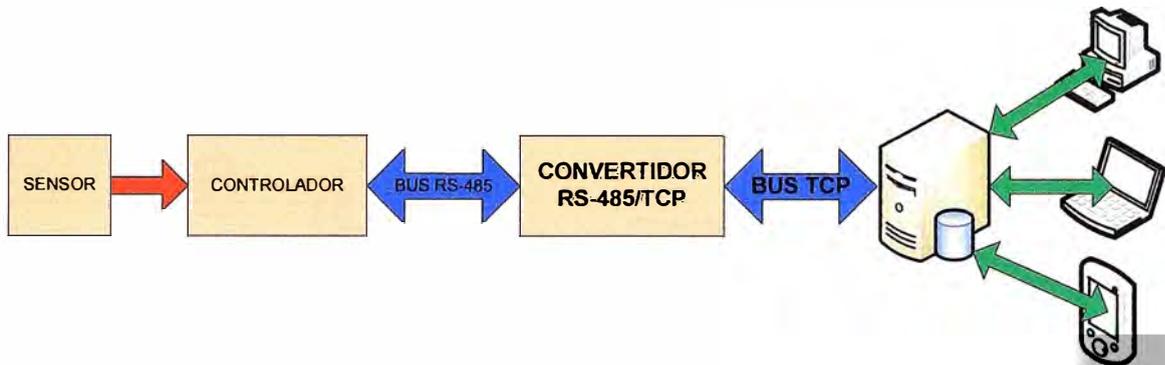


Figura 4.9. Comunicación de las estaciones de trabajo con el servidor

Fuente: Diseño propio

Para conectarse desde el exterior, se hace uso del servicio de Internet con que cuenta la organización. Esto es posible hacerlo de varias formas:

- Establecer el acceso por una red privada virtual (VPN), mediante un servidor, concentrador, firewall, etc, que soporte el servicio VPN.
- Asignar una IP pública al servidor donde está instalado el software de control y monitoreo, de modo que esta IP sea configurada en el software cliente de la estación que desea conectarse.
- Configurar el acceso mediante el protocolo RDP (Remote Desktop Protocol), permitiendo que la estación remota puede establecer una conexión directa hacia la consola del servidor.

En cualquiera de estos casos, se debe tener presente las siguientes recomendaciones:

- El servidor debe ser instalado en una zona restringida de la red (DMZ).
- El firewall debe permitir el tráfico de entrada por el puerto de comunicación utilizado por el software instalado en el servidor.

#### 4.4 Descripción del esquema general de conexión

La Figura 4.10 ilustra el esquema general de conexión del sistema automatizado, el cual resume todo el proceso de automatización. La Tabla 4.10 describe cada una de las actividades con los principales criterios y consideraciones que se deben tener en cuenta durante la implementación de este esquema.

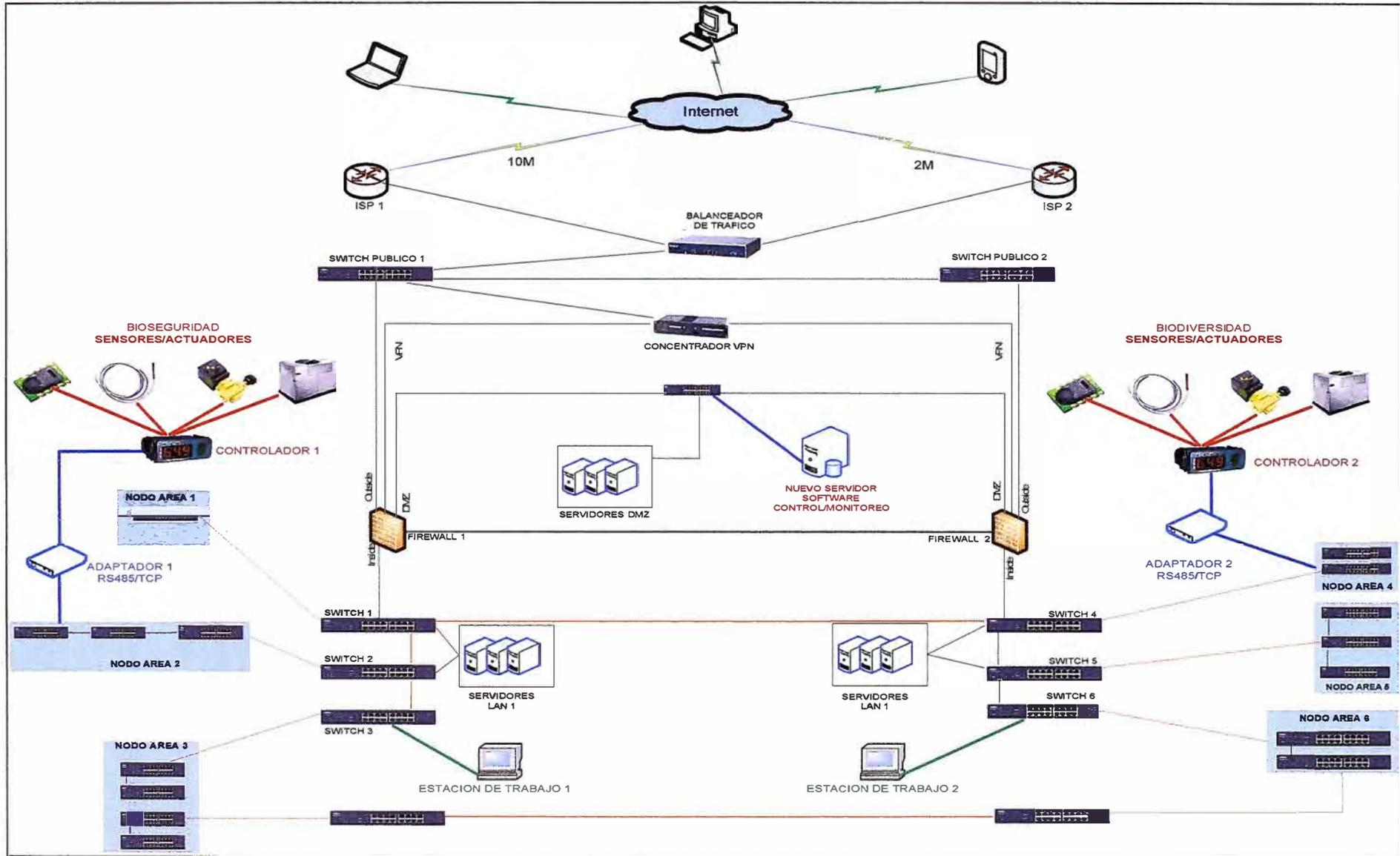


Figura 4.10. Esquema general de conexión del sistema automatizado (Fuente: Diseño propio)

Tabla 4.10. Relación de actividades para la implementación del sistema automatizado

Actividad	Criterios/Consideraciones
Selección del sensor	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Rango de temperatura, precisión, sensibilidad, respuesta térmica y costo.</li> </ul>
Selección del controlador	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Rango de temperatura de operación y control., facilidad de instalación y configuración.</li> <li>• Entrada analógica, acondicionamiento de señal y conversor analógico digital.</li> <li>• Comunicación con computadora, registro de datos por puerto de comunicación compatible con RS-485.</li> <li>• Técnica de control encendido/apagado con ventana de histéresis.</li> <li>• Interfase con pantalla y teclado para la configuración y lectura de datos.</li> <li>• Costo económico reducido.</li> </ul>
Selección del software de control y monitoreo	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Requerimientos de hardware y software en el servidor.</li> <li>• Facilidad para modificación de los parámetros de control.</li> <li>• Monitoreo y registro de las variaciones de temperatura, almacenando la información en el disco duro del servidor.</li> <li>• Generación de reportes y alertas.</li> <li>• Acceso remoto mediante conexión cliente/servidor.</li> <li>• Sin costo de licencia de software de control y base de datos.</li> </ul>
Instalación de sensores, controladores y equipos actuadores	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ubicar el sensor alrededor de la planta.</li> <li>• Ubicar el tablero de control al interior o cerca al invernadero.</li> <li>• Utilizar relés para adaptar la salida del controlador a los equipos actuadores.</li> </ul>
Configuración del controlador	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Utilizar la pantalla y el teclado del controlador para la programación inicial.</li> <li>• Asignar identificación, tipo de variable, rango de temperatura, histéresis, etc.</li> </ul>
Instalación y configuración del convertidor RS-485/TCP	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Conectar controladores con cable de par trenzado, distancia máxima 1200 m.</li> <li>• Conectar convertidor al switch Ethernet usando cable UTP Categoría 5e como mínimo, distancia máxima 100 m.</li> <li>• Utilizar protectores contra sobretensión en ambos extremos del cable UTP.</li> <li>• Configurar el convertidor asignando dirección IP y Puerta de enlace.</li> </ul>
Configuración del firewall	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Puerto de configuración: 5005</li> <li>• Puerto de comunicación: 4000</li> <li>• Configurar regla en el firewall para permitir tráfico LAN/DMZ y VPN/DMZ.</li> </ul>
Instalación y configuración del servidor	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Conectar el servidor en la zona DMZ de la red corporativa.</li> <li>• Instalar el software de control y monitoreo (versión LOCAL) en el servidor.</li> <li>• Registrar dirección IP de los convertidores RS-485/TCP y verificar comunicación con los controladores conectados en cada convertidor.</li> <li>• Crear usuarios y permisos de acceso a los controladores correspondientes.</li> <li>• Configurar envío de alertas por correo electrónico.</li> </ul>
Pruebas iniciales	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Probar el registro de datos y envío de alertas en el servidor.</li> <li>• Probar la conexión interna/externa desde una estación de trabajo (LAN/VPN).</li> <li>• Monitorear el funcionamiento por unos días, revisar reportes de variación de temperatura y hacer los ajustes necesarios para optimizar el control.</li> </ul>
Configuración de copias de seguridad	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Verificar el tamaño de los archivos generados durante el registro de las variaciones de temperatura.</li> <li>• Incluir la copia de esos archivos dentro del proceso de backup corporativo.</li> </ul>
Instalación y configuración de estaciones de trabajo	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Instalar el software de control y monitoreo (versión REMOTE) en las estaciones de trabajo locales y remotas.</li> <li>• Configurar el acceso al servidor mediante el registro de su IP.</li> <li>• Capacitar a los usuarios en el uso del software.</li> </ul>

#### 4.5 Análisis de resultados

La Figura 4.11 muestra la consola del software Sitrad y un reporte gráfico de la variación de temperatura dentro de un cubículo durante 24 horas. El setpoint es 17 °C con una histéresis de  $\pm 2$  °C, por lo que cuando la temperatura alcanza los 19 °C se activa el equipo de refrigeración para disminuir la temperatura y tratar de mantenerla en 17 °C.

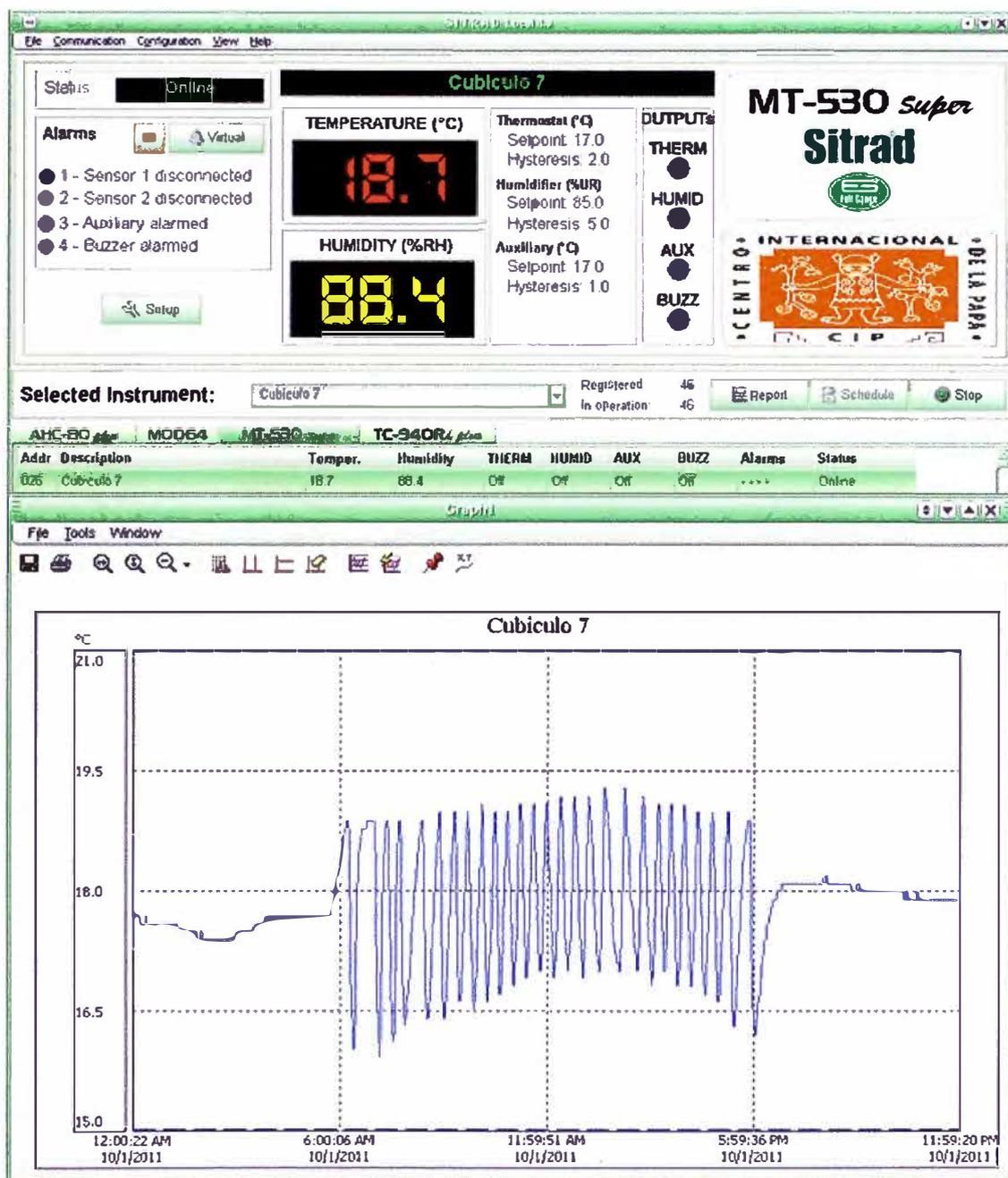


Figura 4.11. Reporte grafico del software de control y monitoreo  
Fuente: Elaboración a partir de software Sitrad

Los resultados muestran que la temperatura en el interior del invernadero varía en función de la radiación solar: con la presencia de luz solar (6:00–18:00 horas), la temperatura al interior del cubículo aumenta y es controlada por medio del sistema de

refrigeración, proceso representado por la oscilación del gráfico; durante la ausencia de luz solar (18:00-6:00 horas), la temperatura en el interior del cubículo básicamente se mantiene constante dentro del rango deseado, sin grandes variaciones.

La Figura 4.12 muestra el registro por minuto de la variación de temperatura, así como el informe con el resumen de esta variación y la utilización del equipo de refrigeración durante el periodo analizado (24 horas).

Fecha	Hora	Temp Ambiente	THERM
10/1/2011	6:00:00 AM	18.5	Desconectado
10/1/2011	6:01:08 AM	18.5	Desconectado
10/1/2011	6:02:16 AM	18.6	Desconectado
10/1/2011	6:03:24 AM	18.6	Desconectado
10/1/2011	6:04:33 AM	18.7	Desconectado
10/1/2011	6:05:41 AM	18.7	Desconectado
10/1/2011	6:06:49 AM	18.7	Desconectado
10/1/2011	6:07:57 AM	18.8	Desconectado
10/1/2011	6:09:05 AM	18.8	Desconectado
10/1/2011	6:10:14 AM	18.8	Desconectado
10/1/2011	6:11:22 AM	18.9	Desconectado
10/1/2011	6:12:30 AM	18.9	Desconectado
10/1/2011	6:13:39 AM	18.9	Conectado
10/1/2011	6:14:47 AM	18.8	Conectado
10/1/2011	6:15:55 AM	18.4	Conectado
10/1/2011	6:17:03 AM	17.9	Conectado
10/1/2011	6:18:11 AM	17.3	Conectado
10/1/2011	6:19:19 AM	16.8	Desconectado
10/1/2011	6:20:28 AM	16.4	Desconectado
10/1/2011	6:21:36 AM	16.2	Desconectado
10/1/2011	6:22:45 AM	16	Desconectado
10/1/2011	6:23:53 AM	16	Desconectado

Figura 4.12. Reporte grafico del software de control y monitoreo  
Fuente: Elaboración a partir de software Sitrad

Se observa que la temperatura aumenta lentamente (12 minutos para aumentar 0.4 °C), pero disminuye rápidamente al conectarse el equipo de refrigeración (4 minutos para disminuir 1.6 °C), lo cual indica un funcionamiento apropiado del sistema de control. Esto se confirma con el resultado mostrado en el resumen, donde se registra que el equipo de refrigeración estuvo conectado 4 horas con 15 minutos, solamente el 16.6% del tiempo total, con una temperatura promedio de 17.8 °C, logrando mantener la temperatura dentro del rango deseado con un reducido consumo de energía.

En base a estos resultados, se recomienda que el proceso de automatización del sistema de control del invernadero de Bioseguridad sea ampliado a otros ambientes dentro de la organización, los cuales requieren un control y monitoreo similar, siguiendo los criterios de selección y actividades listadas en la Tabla 4.10. El anexo E muestra el esquema general de conexión tanto del invernadero de Bioseguridad como de las áreas involucradas en la ampliación.

El aspecto económico es un parámetro importante que se debe considerar en el análisis de la solución propuesta. En ese sentido, se cuenta con un presupuesto limitado debido a que se trata de un organismo de investigación científica, sin fines de lucro, por lo que la

solución debe ofrecer un balance técnico-económico que brinde a la organización las mejoras requeridas para facilitar el trabajo de los investigadores.

Los elementos con mayor influencia sobre el costo total de este esquema son los controladores. Una rápida comparación de costos entre los dos tipos predominantes de controlador (microcontrolador y PLC), confirman la conveniencia de tener como elemento central a un controlador basado en microcontrolador, tal como se deduce del análisis de la Tabla 4.11.

Tabla 4.11. Factores que definen los costos de la solución

	Microcontrolador	PLC
Controlador	\$ 150.00	\$ 600.00
Licencia de software	Gratuito	Propietario de alto costo
Instalación, configuración y mantenimiento	Sencillo	Complejo, requiere personal especializado.

Adicionalmente, debido al nivel de complejidad del proceso a controlar y el tipo de respuesta requerida, un PLC sería subutilizado en esta aplicación, desaprovechando las opciones que ofrece este tipo de controlador para lograr un control más preciso pero para otro tipo de aplicaciones, sobre todo a nivel industrial.

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

1. La temperatura es el factor que más influye en el crecimiento y desarrollo de las plantas en un invernadero. El rango de temperatura requerido en los invernaderos de investigación se encuentra entre 10 °C y 30 °C, con variaciones permitidas entre  $\pm 2$  °C y  $\pm 5$  °C. Entonces, para la medición de temperatura en un invernadero de investigación se recomienda usar el termistor NTC, por su rango de temperatura y sensibilidad.
2. La complejidad del proceso a controlar y el tipo de respuesta deseado definen el tipo de controlador y técnica de control a emplear. La variación de temperatura en un invernadero es un proceso lento, por lo que no se requiere un sistema de control sofisticado, es suficiente utilizar un controlador basado en microcontrolador con un control encendido/apagado y ventana de histéresis, con un costo menor comparado con un sistema de control basado en Controlador Lógico Programable (PLC).
3. El protocolo RS-485 es el apropiado para la adquisición de datos por su gran distancia de cobertura. Empleando un convertidor RS-485/Ethernet se incorpora la red RS-485 dentro de la red LAN, comunicando los controladores con el servidor donde se ejecuta el software de control y monitoreo. La integración del sistema de control con el sistema de monitoreo y registro de datos logra la automatización del invernadero.
4. El acceso remoto para monitorear el sistema de control es una facilidad para el diagnóstico de fallas: el personal de mantenimiento puede conectarse desde cualquier lugar y momento, para emitir un diagnóstico inicial rápido, sin necesidad de estar físicamente en el invernadero; además, la generación de alertas virtuales (e-mail, teléfono móvil) permite tomar las acciones correctivas ante fallas en los actuadores.
5. La tecnología de invernaderos desarrolla un papel importante dentro del proceso de investigación de las plantas transgénicas. En ese sentido, el aporte del profesional del campo de la electrónica es fundamental para la implementación de invernaderos automatizados; de esta manera, se impulsa la utilización de los cultivos biotecnológicos tal como es la tendencia global, encerrando un enorme potencial de cara al futuro.

6. Se sugiere, a futuro, explorar las ventajas de un control feed-forward, utilizando una combinación de temperatura interior y temperatura exterior para el sistema de control; la inclusión de la temperatura exterior permitiría la simulación del comportamiento próximo del invernadero, en función de los cambios que son observados en las variables del entorno, logrando una reacción mas rápida ante cambios súbitos de temperatura en el exterior.

**ANEXO A**  
**Proceso de producción de las plantas transgénicas**

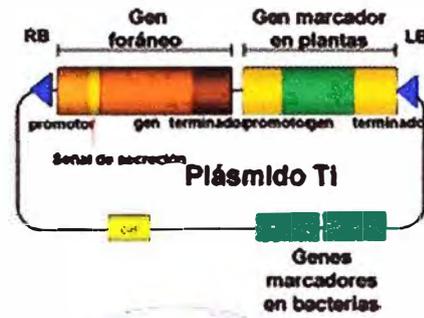
### 1. Aislamiento del explante

Producir una herida en las hojas de los explantes



### 2. Infección con Agrobacterium

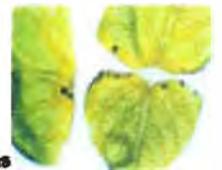
Co-cultivo de hojas con *Agrobacterium* que porta genes para resistencia contra enfermedades



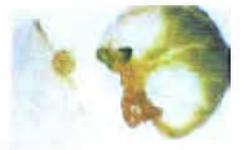
### 4. Múltiples evaluaciones

### 3. Brotes transgénicos

Regeneración de brotes en medio selectivo



2 - 3 semanas



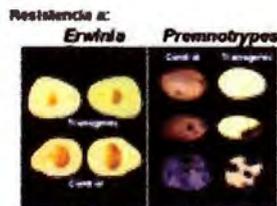
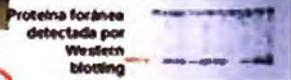
3 - 5 semanas



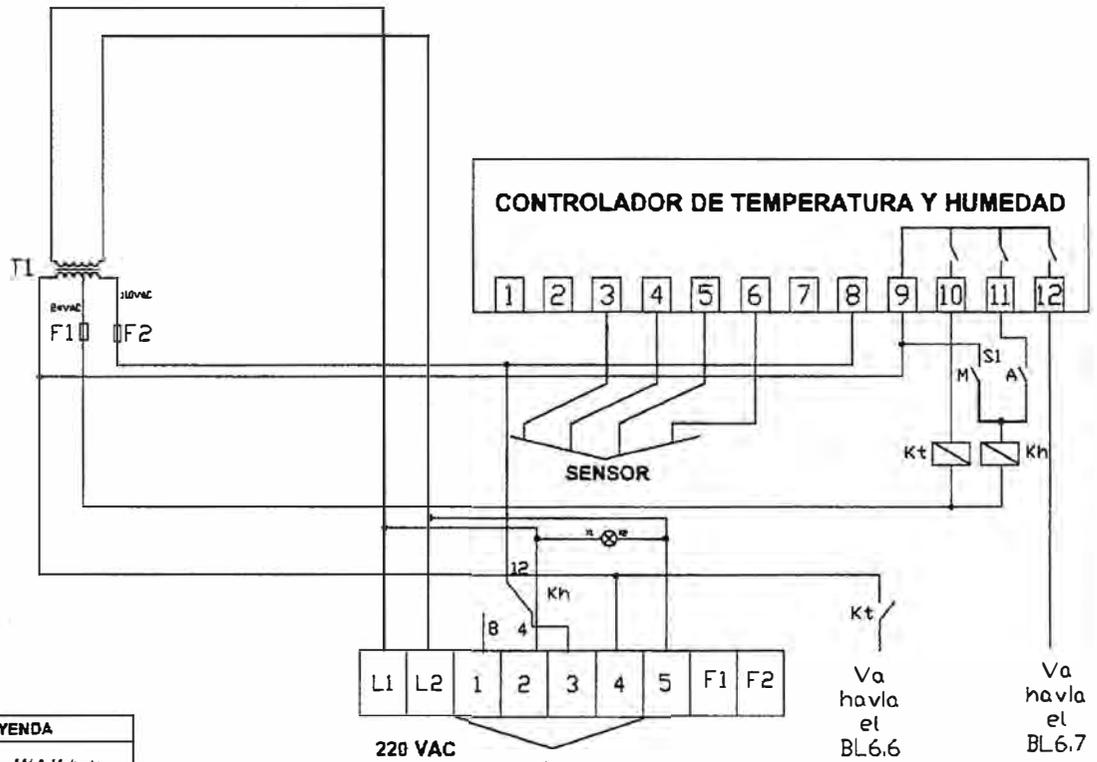
Aislamiento



Laboratorio  
Invernadero  
Campo



**ANEXO B**  
**Esquema eléctrico del circuito de control**



LEYENDA	
S1	= Selector M/A Valvula Motorizada
Y1	= Valvula Motorizada Chiller
W1	= Resistencia

220 VAC

Viene de BL4.1

Viene de BL4.2

Va hacia Valvula Motorizada Humedad

Va hacia BL6.6

Va hacia BL6.7

## **ANEXO C**

**Manual de controlador digital de temperatura y humedad  
Manual de convertidor Serial / Ethernet**



# MT-530 Super

CONTROLADOR DIGITAL DE TEMPERATURA Y HUMEDAD CON COMUNICACIÓN SERIAL

Ver.01



MT530SP01-02T-11698

## 1. DESCRIPCIÓN

MT-530 Super es un instrumento que indica y controla la temperatura y la humedad del ambiente, indicado para la humedad relativa baja y media del aire (a partir el 20 a el 85%, sin condensación) y la temperatura de -10 a 70°C. Sus sensores de la temperatura y de la humedad se ensamblan en un único bulbo, que disminuye el espacio en el cableado de la instalación.

El instrumento tiene una comunicación serial para la conexión con el SITRAD® vía Internet.

Producto de conformidad con UL Inc. (Estados Unidos y Canadá).

## 2. APLICACIÓN

- Deshumidificadores
- Bodegas
- Secado de granos
- Humidificadores
- Climatizadores
- Climatizados e ambientes de TI

## 3. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

- Alimentación directa: MT-530 Super - 115 ó 230 VCA ±10% (50/60 Hz)  
MT-530L Super - 12 ó 24 Vac/dc
- Temperatura de control: -10 hasta 70.0 °C ±1.5°C (con resolución de 0.1°C)  
14 hasta 158 °F ±3°F (con resolución de 1°F)
- Humedad de control: 20 hasta 85%HR ±5%HR (con resolución de 0.1%HR)
- Corriente máxima por salida: 8(3)A/250Vac 1/4HP
- Dimensiones: 71 x 28 x 71 mm
- Temperatura de operación: 0 hasta 50°C  
32 hasta 122°F
- Humedad de operación: 10 hasta 90% HR (no condensante)

## 4.3 - Tabla de parámetros

Fun	Descripción	CELSIUS				FAHRENHEIT			
		Min	Máx	Unid	Estándar	Min	Máx	Unid	Estándar
F01	Código de acceso: 123 (ciento veintitrés)	-99	999	-	-	-99	999	-	-
F02	Modo de operación de termostato (salida THERM)	0 - refriger.	1 - calefac.	-	0 - refriger.	0 - refriger.	1 - calefac.	-	0 - refriger.
F03	Mínimo setpoint permitido al usuario final (termostato)	-10.0	70.0	°C	-10.0	14	158	°F	14
F04	Máximo setpoint permitido al usuario final (termostato)	-10.0	70.0	°C	70.0	14	158	°F	158
F05	Diferencial de control (histéresis) del termostato	0	20.0	°C	1.5	0	36	°F	3
F06	Retardo mínimo para activar la salida THERM	0	999	seg.	0	0	999	seg.	0
F07	Modo de operación de la salida HUMID (humidistato)	0 - deshum.	1 - umid.	-	1 - humid.	0 - deshum.	1 - humid.	-	1 - humid.
F08	Mínimo setpoint permitido al usuario final (humidistato)	0	100	%HR	0	0	100	%HR	0
F09	Máximo setpoint permitido al usuario final (humidistato)	0	100	%HR	100	0	100	%HR	100
F10	Diferencial de control (histéresis) del humidistato	0	20.0	%HR	5	0	20.0	%HR	5
F11	Retardo mínimo para activar la salida HUMID	0	999	seg.	0	0	999	seg.	0
F12	Tiempo de humidificación activada	0	999	seg.	5	0	999	seg.	5
F13	Tiempo de humidificación desactivada	0	999	seg.	5	0	999	seg.	5
F14	Modo de operación de la salida AUX (auxiliar)	0	10	-	5	0	10	-	5
F15	Mínimo setpoint permitido al usuario final (salida AUX)	0	100	-	0	0	100	-	0
F16	Máximo setpoint permitido al usuario final (salida AUX)	0	100	-	100	0	100	-	100
F17	Diferencial de control (histéresis) de la salida AUX	0	20.0	-	5	0	20.0	-	5
F18	Retardo mínimo para activar la salida AUX	0	999	seg.	0	0	999	seg.	0
F19	Base de tiempo del timer de la salida AUX	0	999	-	0	0	999	-	0
F20	Tiempo de salida AUX activada	0	999	seg.	5	0	999	seg.	5
F21	Tiempo de salida AUX desactivada	0	999	seg.	5	0	999	seg.	5
F22	Alarma de temperatura ambiente baja	-10.0	70.0	°C	-10.0	14	158	°F	14
F23	Alarma de temperatura ambiente alta	-10.0	70.0	°C	70.0	14	158	°F	158
F24	Alarma de humedad ambiente baja	0	100	%HR	0	0	100	%HR	0
F25	Alarma de humedad ambiente alta	0	100	%HR	100	0	100	%HR	100
F26	Retardo mínimo para activar la salida AUX (modo alarma)	0	999	min.	0	0	999	min.	0
F27	Modo de operación del Buzzer	0	1	-	1	0	1	-	1
F28	Punto de actuación del Buzzer por baja temperatura	-10.0	70.0	°C	-10.0	14	158	°F	14
F29	Punto de actuación del Buzzer por alta temperatura	-10.0	70.0	°C	70.0	14	158	°F	158
F30	Punto de actuación del Buzzer por baja humedad	0	100	%HR	0	0	100	%HR	0
F31	Punto de actuación del Buzzer por alta humedad	0	100	%HR	100	0	100	%HR	100
F32	Tiempo máximo de la salida THERM accionada para disparar la alarma	0	999	min.	0	0	999	min.	0
F33	Tiempo máximo de la salida HUMID accionada para disparar la alarma	0	999	min.	0	0	999	min.	0
F34	Tiempo máximo de la salida AUX accionada para disparar la alarma	0	999	min.	0	0	999	min.	0
F35	Tiempo del Buzzer activado	0	999	seg.	1	0	999	seg.	1
F36	Tiempo del Buzzer desactivado	0	999	seg.	1	0	999	seg.	1
F37	Tiempo de inhibición del Buzzer en la energización	0	999	min.	0	0	999	Min.	0
F38	Modo de visualización	0	2	-	0	0	2	-	0
F39	Corrimiento de indicación de la temperatura (offset)	-5.0	5.0	°C	0	-9	9	°F	0
F40	Corrimiento de indicación de la humedad (offset)	-20.0	20.0	%HR	0	-20.0	20.0	%HR	0
F41	Dirección del instrumento en la red RS-485	0	247	-	1	0	247	-	1

## 4. CONFIGURACIONES

### 4.1 - Ajuste de la temperatura y humedad de control (SETPOINT)

- Presione **SET** por 2 segundos hasta que aparezca **SET**, soltando enseguida. Aparecerá **123** y la temperatura ajustada.
- Utilice las teclas **↓** y **↑** para cambiar el valor y, cuando esté listo, presione **SET**.
- Aparecerá ahora **h1** y la humedad ajustada.
- Utilice las teclas **↓** y **↑** para alterar el valor y, cuando esté listo, presione **SET**.
- Entonces, si la salida AUX está configurada para control (F14 = 0, 1, 2 o 3) puede aparecer **123** o **h2**.
- Caso aparezca algunas de estas indicaciones, configure el valor de la salida AUX con las teclas **↓** y **↑** y presione **SET** para confirmar.

### 4.2 - Alteración de los parámetros

- Accede a la función F01 presionando simultáneamente las teclas **↓** y **↑** por 2 segundos hasta que aparezca **Fun**, soltando enseguida. Luego aparecerá **F01** y entonces presione **SET** (toque corto).
- Utilice las teclas **↓** y **↑** para ingresar el código de acceso (123) y, cuando esté listo, presione **SET** para entrar.
- Utilice las teclas **↓** y **↑** para acceder la función deseada.
- Después de seleccionar la función, presione **SET** (toque corto) para visualizar el valor configurado para aquella función.
- Utilice las teclas **↓** y **↑** para alterar el valor y, cuando esté listo, presione **SET** para grabar el valor configurado y volver al menú de funciones.
- Para salir del menú de funciones y volver a la operación normal, presione **SET** hasta aparezca **--**.

Ejemplo: Humidificación  
 Control = 80% HR \*Tiempo de humedad prendida = 20 seg  
 Histeresis = 5% HR \*Tiempo de humedad apagada = 10 seg  
 Cuando la humedad cae a 75% HR (80 - 5), la salida del humidistato pasa a ciclar: 20 seg. prendida - 10 seg. apagada

#### 4.4 - Descripción de los parámetros

##### F01 - Código de acceso: 123 (ciento veintitrés)

Es necesario cuando se desea alterar los parámetros de configuración. Para solamente visualizar los parámetros ajustados no es necesario ingresar este código.

##### F02 - Modo de operación del termostato (salida THERM)

- Refrigeración
- Calefacción

##### F03 - Mínimo setpoint permitido al usuario final (termostato)

##### F04 - Máximo setpoint permitido al usuario final (termostato)

Bloqueo electrónicos cuya finalidad es evitar, que por error, se regule el setpoint en temperaturas extremadamente altas o bajas de setpoint.

##### F05 - Diferencial de control (histeresis) del termostato

Es la diferencia de temperatura (histeresis) entre CONECTADA y DESCONECTADA de la salida THERM.

##### F06 - Retardo mínimo para activar la salida THERM

Es el tiempo mínimo en que la salida THERM permanecerá desconectada, o sea, espacio de tiempo entre la última parada y la próxima partida.

##### F07 - Modo de operación de la salida HUMID (humidistato)

- Deshumidificación
- Humidificación

##### F08 - Mínimo setpoint permitido al usuario final (humidistato)

##### F09 - Máximo setpoint permitido al usuario final (humidistato)

Bloqueos electrónicos cuya finalidad es evitar, que por error, se regule el setpoint en humedades extremadamente altas o bajas de setpoint.

##### F10 - Diferencial de control (histeresis) del humidistato

Es la diferencia de humedad (histeresis) entre CONECTADA y DESCONECTADA de la salida HUMID.

##### F11 - Retardo mínimo para activar la salida HUMID

Es el tiempo mínimo en que la salida HUMID permanecerá desconectada, o sea, espacio de tiempo entre la última parada y la próxima partida.

##### F12 - Tiempo de humidificación activada

Esta función sirve para ajustar el tiempo que la salida HUMID permanecerá activada.

##### F13 - Tiempo de humidificación desactivada

Esta función sirve para ajustar el tiempo que la salida HUMID permanecerá desactivada.  
 OBS.: Las funciones F12 y F13 controlan una temporización ciclica (en segundos) para la salida del humidistato. Esa temporización permite que el agua vaporizada tenga tiempo de convertirse en humedad relativa del aire. Para deshabilitar esa temporización, ajuste en "00.0" el valor de las mismas.

##### F14 - Modo de operación de la salida AUX (auxiliar)

- Refrigeración
- Refrigeración
- Deshumidificación
- Humidificación
- Alarma intra-rango
- Alarma extra-rango
- Timer ciclico independiente;
- Timer ciclico actuando solamente cuando la temperatura alcanza el setpoint (salida THERM desaccionada);
- Timer ciclico actuando solamente cuando la humedad alcanza el setpoint (salida HUMID desaccionada)
- Timer ciclico actuando cuando la temperatura o la humedad alcanza su setpoint;
- Timer ciclico actuando solamente cuando la temperatura y la humedad atinquen sus setpoints.

##### F15 - Mínimo setpoint permitido al usuario final (salida AUX)

##### F16 - Máximo setpoint permitido al usuario final (salida AUX)

Bloqueos electrónicos cuya finalidad es evitar, que por error, se regule valores extremadamente altos o bajos del setpoint. Los límites dependerán del modo de la operación de la salida AUX ajustada en F14.

##### F17 - Diferencial de control (histeresis) de la salida AUX

Es la diferencia de humedad (histeresis) entre CONECTADA y DESCONECTADA de la salida auxiliar. Esta función depende del modo de la operación de la salida AUX ajustado en F14.

##### F18 - Retardo mínimo para activar la salida AUX

Es el tiempo mínimo en que la salida HUMID permanecerá desconectada, o sea, espacio de tiempo entre la última parada y la próxima partida.

Esta vez es válida solamente cuando la salida AUX. se configura en el modo del control (F14 configurado en 0, 1, 2 ó 3).

##### F19 - Base de tiempo del timer de la salida AUX

Permite configurar la escala del tiempo prendido o apagado del timer ciclico de la salida AUX.

Valor	Tiempo prendido (F20)	Tiempo apagado (F21)
0	Segundos	Segundos
1	Minutos	Minutos
2	Segundos	Minutos
3	Minutos	Segundos

##### F20 - Tiempo de la salida AUX activada

Esta función sirve para ajustar el tiempo que la salida AUX permanecerá activada.

##### F21 - Tiempo de salida AUX desactivada

Esta función sirve para ajustar el tiempo que la salida AUX permanecerá desactivada.

##### F22 - Alarma de temperatura ambiente baja

Temperatura para la activación del alamar de la temperatura baja.

##### F23 - Alarma de temperatura ambiente alta

Temperatura para la activación del alamar de la temperatura alta.

##### F24 - Alarma de humedad ambiente baja

Humedad para la activación del alamar de la humedad baja.

##### F25 - Alarma de humedad ambiente alta

Humedad para la activación del alamar de la humedad alta.

##### F26 - Retardo mínimo para activar la salida AUX (modo alarma)

Es el tiempo mínimo en que la salida AUX permanecerá desconectada, o sea, espacio de tiempo entre la última parada y la próxima partida. Esta vez es válida solamente cuando la salida AUX. se configura en el modo del alarma (F14 configurado en 4 ó 5).

##### F27 - Modo de operación del Buzzer

- Alarma intra-rango
- Alarma extra-rango

##### F28 - Punto de actuación del Buzzer por baja temperatura

Es el valor inferior de la temperatura para la actuación de la alarma del Buzzer según el Modo de operación del Buzzer (F27) configurado.

##### F29 - Punto de actuación del Buzzer por alta temperatura

Es el valor superior de la temperatura para la actuación de la alarma del Buzzer según el Modo de operación del Buzzer (F27) configurado.

##### F30 - Punto de actuación del Buzzer por baja humedad

Es el valor inferior de la humedad para la actuación de la alarma del Buzzer según el Modo de operación del Buzzer (F27) configurado.

##### F31 - Punto de actuación del Buzzer por alta humedad

Es el valor superior de la humedad para la actuación de la alarma del Buzzer según el Modo de operación del Buzzer (F27) configurado.

##### F32 - Tiempo máximo de la salida THERM accionada para disparar la alarma

Permite configurar el tiempo máximo que la salida THERM podrá quedarse accionada, sin alcanzar el setpoint, antes de accionar la alarma sonora (BUZZER). Para desactivar esta función basta disminuir el

valor hasta que el mensaje  $\overline{0F F1}$  sea exhibido en el display.

##### F33 - Tiempo máximo de la salida HUMID accionada para disparar la alarma

Permite configurar el tiempo máximo que la salida HUMID podrá quedarse accionada, sin alcanzar el setpoint, antes de accionar la alarma sonora (BUZZER). Para desactivar esta función basta disminuir el valor hasta que el mensaje  $\overline{0F F3}$  sea exhibido en el display

##### F34 - Tiempo máximo de la salida AUX accionada para disparar la alarma

Permite configurar el tiempo máximo que la salida AUX podrá quedarse accionada, sin alcanzar el setpoint, antes de accionar la alarma sonora (BUZZER). Para desactivar esta función basta disminuir el valor hasta que el mensaje  $\overline{0F F4}$  sea exhibido en el display

##### F35 - Tiempo del Buzzer activado

Es el tiempo que el Buzzer permanecerá conectado (ciclo activo). Para inhabilitar la alarma sonora (Buzzer) ajuste el valor "0" para esta función.

##### 36 - Tiempo del Buzzer desactivado

Es el tiempo que el Buzzer permanecerá desconectado (ciclo inactivo). Para que la alarma sonora (Buzzer) sea continua ajuste el valor "0" para esta función.

##### F37 - Tiempo de inhibición del Buzzer en la energización

Es el tiempo que el Buzzer permanecerá desactivado mismo que en condiciones de alarma. Este tiempo sirve para inhibir el Buzzer durante el tiempo que el sistema aún no.

##### F38 - Modo de visualización

- Indicación alternada de temperatura y humedad
- Indicación solamente de temperatura
- Indicación solamente de humedad

##### F39 - Corrimiento de indicación de la temperatura (offset)

Permite compensar eventuales errores en la lectura de la temperatura, provenientes del cambio del sensor o de alteración en el largo del cable.

##### F40 - Corrimiento de indicación de la humedad (offset)

Permite compensar eventuales errores en la lectura de la humedad, provenientes del cambio del sensor o de alteración en el largo del cable.

##### F41 - Dirección del instrumento en la red RS-485

irección del instrumento en la red para comunicación con el software SITRAD®.

Obs.: En una misma red no puede haber más de un instrumento con la misma dirección.

## 5. FUNCIONES CON ACCESO FACILITADO

### 5.1 - Registros de mínima y máxima temperaturas y humedades

Presione  $\overline{\Delta}$ . Aparecerá  $\overline{L E}$  seguido de las mínima y máxima temperaturas registradas. Después aparecerá  $\overline{H E}$  seguido de las mínimas e máximas humedades registradas.

Nota: Para reiniciar los registros, mantener presionada la tecla  $\overline{\Delta}$  durante la visualización de las temperaturas mínima y máxima hasta que aparezca  $\overline{L E}$ .

### 5.2 - Visualizar humedad o temperatura

Caso la función F16 no esté en el modo de visualización alternado ("0") es posible visualizar el valor de humedad o temperatura presionando la tecla  $\overline{\Delta}$ .

## 6. SEÑALIZACIONES

Led THERM encendido - Salida del termostato prendida

Led HUMID encendido - Salida del humidistato prendida

Led AUX encendido - Salida auxiliar prendida

Led BUZZ encendido - Buzzer activado

(E F 1) - Sensor de la temperatura irregular

(E F 2) - Sensor de la humedad irregular

(P P P) - Parámetros de configuración inválidos;

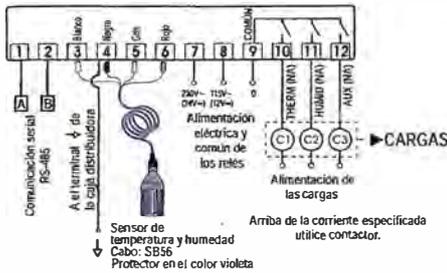
- En esa situación las salidas son apagadas automáticamente;

- Verifique cual de los parámetros posee datos inválidos y corrijalo para retornar a la operación normal.

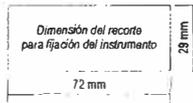
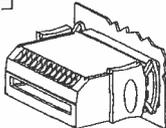
## 7. SELECCION DE LA UNIDAD (C° / F°)

Para definir la unidad con que el instrumento operará, acceda a función "F01" con el código de acceso "231" y confirme en la tecla **SET**. Presione la tecla **▲** y aparecerá la indicación **U<sub>01</sub>**. Presione **SET** para elegir entre **C°** y **F°** confirme. Después de seleccionar la unidad aparecerá **F A C** y el instrumento volverá a la función "F01". Cada vez que la unidad sea alterada, los parámetros deben ser reconfigurados, ya que ellos asumen los valores "estandar".

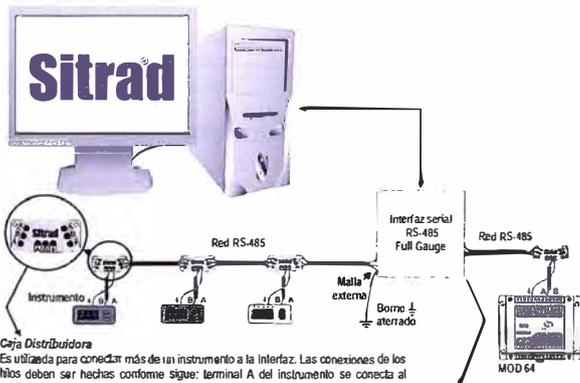
## 8. ESQUEMA DE CONEXIÓN



MT-S30 Super	MT-S30L Super
9-8	115V
9-7	230V
	12V
	24V



## Interconectando Controladores, Interface Serial RS-485 y Computadora



### Caja Distribuidora

Es utilizada para conectar más de un instrumento a la interfaz. Las conexiones de los hilos deben ser hechas conforme sigue: terminal A del instrumento se conecta al terminal A de la caja distribuidora, que a su vez, debe ser conectado con el terminal A de la interfaz. Repita el procedimiento para los terminales B y  $\perp$ , siendo  $\perp$  la malla del cabo (tierra opcional). El terminal  $\downarrow$  de la caja de distribución debe estar conectado a los respectivos terminales  $\downarrow$  de cada uno de los instrumentos.

**Interfaz Serial RS-485**  
Dispositivo utilizado para establecer la conexión de los instrumentos de Full Gauge Controls con el Sitrad®.

## IMPORTANTE

Según capítulos de la norma IEC60364:

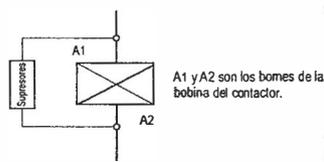
1: Instale protectores contra sobretensiones en la alimentación.

2: Cables de sensores y de señales de computadora pueden estar juntos, sin embargo no en lo mismo conductor por donde pasan alimentación eléctrica y activación de cargas.

3: Instale supresores de transientes (filtro RC) en paralelo a las cargas, de manera a ampliar la vida útil de los relés.

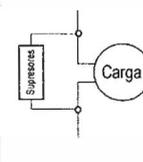
Más informaciones contacte nuestro departamento de ing. de aplicación por medio del e-mail [support@fullgauge.com](mailto:support@fullgauge.com) o por teléfono +55 51 3475.3308.

Esquema de conexión de supresores en contactores



A1 y A2 son los bornes de la bobina del contactor.

Esquema de conexión de supresores en cargas activación directa



Para activación directa hay que llevar en consideración la corriente máxima especificada.

Nota: El largo del cable del sensor puede ser ampliado por el propio usuario en hasta 200 metros utilizando el cable 4 x 0,20mm<sup>2</sup>.



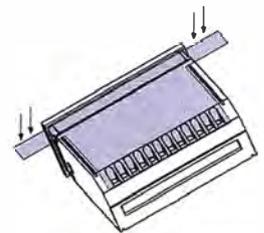
### VINILO PROTECTOR:

Protege los instrumentos instalados en locales sometidos a goteos de agua, como en refrigeradores comerciales, por ejemplo.

Este adhesivo acompaña el instrumento, dentro de su embalaje.

Haga la aplicación solamente después de concluir las conexiones eléctricas.

Retire el papel protector y aplique el vinilo sobre toda la parte superior del aparato, doblando los bordes conforme indican las flechas.





# TCP-485

## CONVERTIDOR SERIAL / ETHERNET

Ver.01



TCP48501-01T-12057

### 1. DESCRIPCIÓN

El convertidor Serial/Ethernet TCP-485 permite la interconexión de los controladores Full Gauge con el software de supervisión Sitrad a través de una red de datos Ethernet, usando el patrón de comunicación TCP/IP.

Hoy en día muchas empresas poseen el cableado Ethernet disponible en sus instalaciones. Con el convertidor TCP-485 es posible aprovechar el cableado ya instalado, siendo innecesaria la creación de un nuevo cableado para la red RS-485 de los controladores.

El sistema es compuesto por un convertidor Ethernet/RS-485 conectado a la red Ethernet (puede ser una internet, intranet o directamente al computador) y por el Sitrad, que realiza una conexión TCP/IP directa con el convertidor Ethernet/RS-485 para poder comunicarse con los controladores conectados a él. El convertidor transforma el patrón eléctrico RS-485 utilizado por los controladores para el protocolo de comunicación TCP/IP, utilizado en la interconexión de redes de computadores.

### 2. APLICACIÓN

- Instalaciones que no poseen condiciones de pasaje de un nuevo cableado y ya poseen una estructura Ethernet montada.
- Centralizar la colecta de datos de varios locales remotos en un servidor, sin la necesidad de tener un computador dedicado para cada local remoto.

OBS: El convertidor TCP-485 fue proyectado para funcionar solamente con instrumentos de Full Gauge Controls.

### 3. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

- Alimentación del Convertidor: 5a 24 Vdc.
- Fuente de alimentación suministrada junto con el convertidor: Entrada: 100-240Vac (50/60Hz) Salida: 5Vdc/1A

- Temperatura de operación: 0 a 50°C
- Humedad de operación: 10 a 90%UR
- Número de instrumentos soportados por convertidor: 32
- Leds de Indicación:

- RUN: señala que el convertidor está conectado
- TX: indica status de transmisión
- RX: indica status de recepción
- LAN: indica status de la red

- Velocidad Ethernet: 10/100Mbps
- Conexiones:
  - Conexión tipo RJ-45, para conexión con el PC, utilizando cable de par trenzado, suministrado junto con el convertidor.
  - Conexión tipo DB9 para conexión con los controladores, utilizando cable específico suministrado junto con el convertidor.

### 4. INSTALACIÓN Y OPERACIÓN

- Conecte el convertidor a la alimentación eléctrica.
- Conecte el convertidor TCP-485 al computador o red por medio del cable RJ-45.
- Conecte los controladores al convertidor TCP-485 por medio del cable serial RS-485.
- Conecte el convertidor presionando el botón rojo.

El computador se conecta al convertidor por medio de una dirección IP y dos puertos (de configuración y comunicación). El computador primero se conecta en la puerta de configuración, realizando una operación de validación, restringiendo el acceso al convertidor caso una contraseña haya sido registrada. Después de la validación el computador se conecta a la puerta de comunicación, transmitiendo y recibiendo los datos para los controladores.

Para configurar los parámetros del convertidor TCP-485 es preciso utilizar el programa EthernetConfig, provisto por Full Gauge en el CD de instalación del Sitrad. A través de este software es posible alterar parámetros como la dirección IP, Puerta de Comunicación, Puerta de Configuración, Contraseña de Acceso, Filtro de Acceso por IP, Nombre Descriptivo del Convertidor, entre otros.

**NOTA 01: ATENCIÓN:** Caso sea configurada una contraseña de acceso al convertidor, es preciso que esta contraseña sea guardada con mucho cuidado. Caso ocurra la pérdida de la contraseña configurada en el convertidor, el aparato deberá ser enviado para la asistencia técnica de Full Gauge, para que esta regrese las configuraciones patrón del convertidor.

**NOTA 02:** A pesar de el Sitrad Local comunicar con varios convertidores TCP-485 al mismo tiempo, no es permitido que hayan controladores con direcciones iguales, mismo que en convertidores distintos.

### 5. CONFIGURACIÓN DE RED

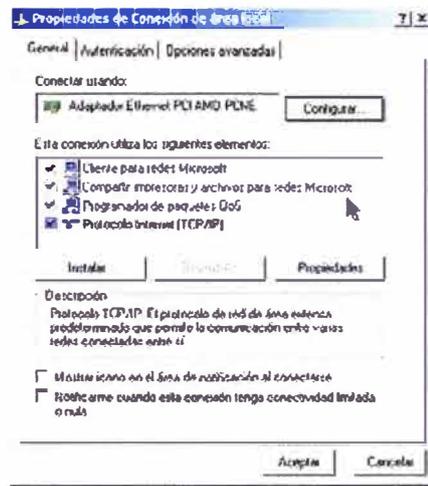
El convertidor TCP-485 sale de fábrica configurado con los siguientes valores patrones:

- Dirección IP: 192.168.2.127
- Máscara de red: 255.255.0.0
- Gateway: 0.0.0.0
- Puerta de configuración: 5005
- Puerta de comunicación: 4000

Caso su computador no este configurado para acceder el intervalo de IP 192.168.2.0 a 192.168.2.255 será preciso realizar el acceso directo al convertidor para configurarlo con una dirección IP que pertenezca a su red de computadores.

Para realizar el acceso directo al convertidor siga los pasos abajo:

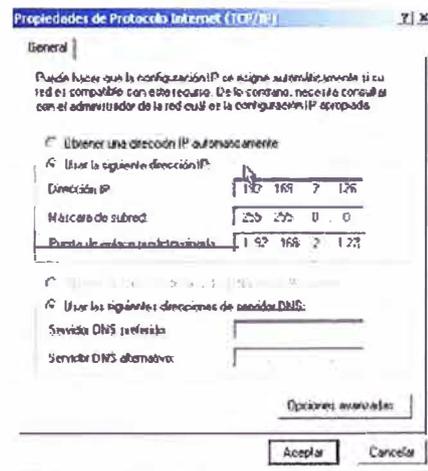
- Conecte el cable de red del convertidor directamente en la placa de red de un computador. Al hacer eso su máquina quedará sin acceso a la red y a internet.
- Acceda a las conexiones de red del computador.
  - En Windows XP, abra el Panel de Control del sistema operacional, elija la opción "Conexiones de red y de Internet" y después elija la opción "Conexiones de red".
  - En Windows Vista, abra el Panel de Control del sistema operacional, elija la opción "Red e Internet", después "Centro de Red y Compartimiento", y después, en el menú a la izquierda de la pantalla, elija a opción "Administrar conexiones de red".
- Clique con el botón derecho del mouse sobre la conexión que estuviera utilizando y elija "Propiedades".
- Seleccione en la lista el ítem "Protocolo TCP/IP" o "Protocolo TCP/IP versión 4". Como muestra la imagen abajo.



- Después de seleccionar el ítem, clique en Propiedades.
- En la pantalla siguiente, anote las configuraciones actuales para después volver para la configuración correcta.

- Marque la opción "Usar la siguiente dirección IP" y configure los campos con los siguientes valores:

- Dirección IP: 192.168.2.126
- Máscara de sub-red: 255.255.0.0
- Gateway patrón: 192.168.2.127

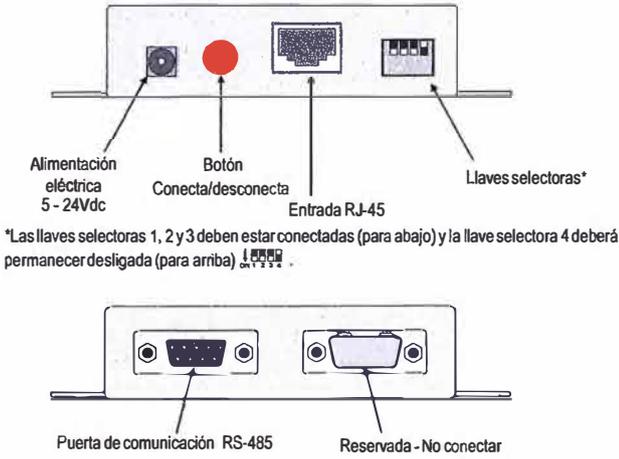


- Clique en Aceptar para salir.
- Clique en Aceptar en la pantalla de Propiedades para guardar las alteraciones.

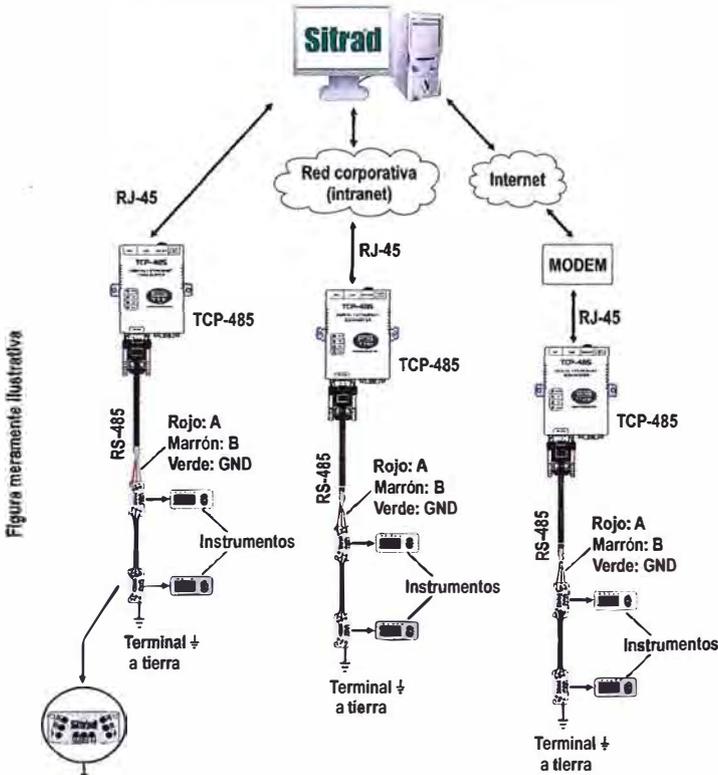
Ahora su computador está configurado para comunicar en la misma red del convertidor TCP-485. Acceda al convertidor a través del programa EthernetConfig y mude la dirección IP del convertidor para una dirección válida de su red.

Después de realizar las configuraciones en el convertidor, retome las configuraciones de las propiedades de la placa de red para los valores correctos.

## 6. ESQUEMA ELÉCTRICO



## INTERCONECTANDO CONTROLADORES, CONVERTIDOR TCP-485 Y COMPUTADOR



### Caja Distribuidora

Es utilizada para conectar más de un instrumento a la Interfaz. Las conexiones de los hilos deben ser hechas conforme sigue: terminal A del instrumento se conecta al terminal A de la caja distribuidora, que a su vez, debe ser conectado con el terminal A de la Interfaz. Repita el procedimiento para los terminales B y  $\perp$ , siendo  $\perp$  la malla del cabo (tierra opcional). El terminal  $\perp$  de la caja de distribución debe estar conectado a los respectivos terminales  $\perp$  de cada uno de los instrumentos

### IMPORTANTE

Según capítulos de la norma IEC 60364:

1: Instale protectores contra sobretensiones en la alimentación.

2: Cables de sensores y de señales de computadora pueden estar juntos, sin embargo no en la misma conducción por donde pasan alimentación eléctrica y activación de cargas.

**ANEXO D**  
**Software de control y monitoreo**

## Software de control y monitoreo: Sitrad

Sitrad es un software desarrollado con el objetivo de facilitar y simplificar la administración de sistemas de refrigeración, calefacción, climatización y calefacción solar que puede ser accesado desde cualquier lugar del mundo, vía Internet. Evalúa, configura y almacena continuamente datos de temperatura, humedad, tiempo, presión y voltaje, permitiendo la modificación on-line de los parámetros de operación de los instrumentos con total seguridad y precisión. Su versatilidad permite la aplicación en diversos segmentos.



### Funciones

- Permite la alteración de los parámetros de control de los instrumentos, tales como límites máximo y mínimo de temperatura, tiempo de proceso, entre otros.
- Evalúa, controla y almacena datos de temperatura, humedad, tiempo, presión y voltaje.
- Realiza análisis del histórico a través de gráficos e informes, creados a partir de los datos almacenados.
- Envía mensajes de alerta para celulares y e-mails registrados, en caso los parámetros salgan de los límites deseados y pre-establecidos como estándar.
- Posee conexión cliente/servidor (de Sitrad para Sitrad), que proporciona seguridad en la administración de datos; los usuarios registrados pueden conectarse al software desde su casa y administrar las información.
- Establece niveles de jerarquía, estableciendo perfiles de usuario, los cuales determinan quien puede alterar parámetros o sólo monitorear el funcionamiento.
- Es de fácil instalación y uso, sin necesidad de conocimientos profundos en informática.
- Contribuye en el uso racional de los recursos de energía y es totalmente gratuito.

### Especificaciones técnicas

Sitrad esta compuesto por tres módulos: LOCAL, REMOTE y MOBILE.

**Módulo LOCAL:** debe ser instalado en la computadora en que están conectados los controladores a través de la interfase CONV256 o de la interfase CONV96. Es decir, debe ser instalado próximo a los controladores. Los requisitos mínimos del sistema son:

- Pentium II 400 MHz o superior
- 30 MB de HD
- 64 MB de RAM (recomendable 256 MB)
- Windows 98/ME/NT/2003 (comunicación serial)
- Windows XP/2000 (comunicación serial y USB)
- 1 puerta de comunicación (COM1 o COM2)

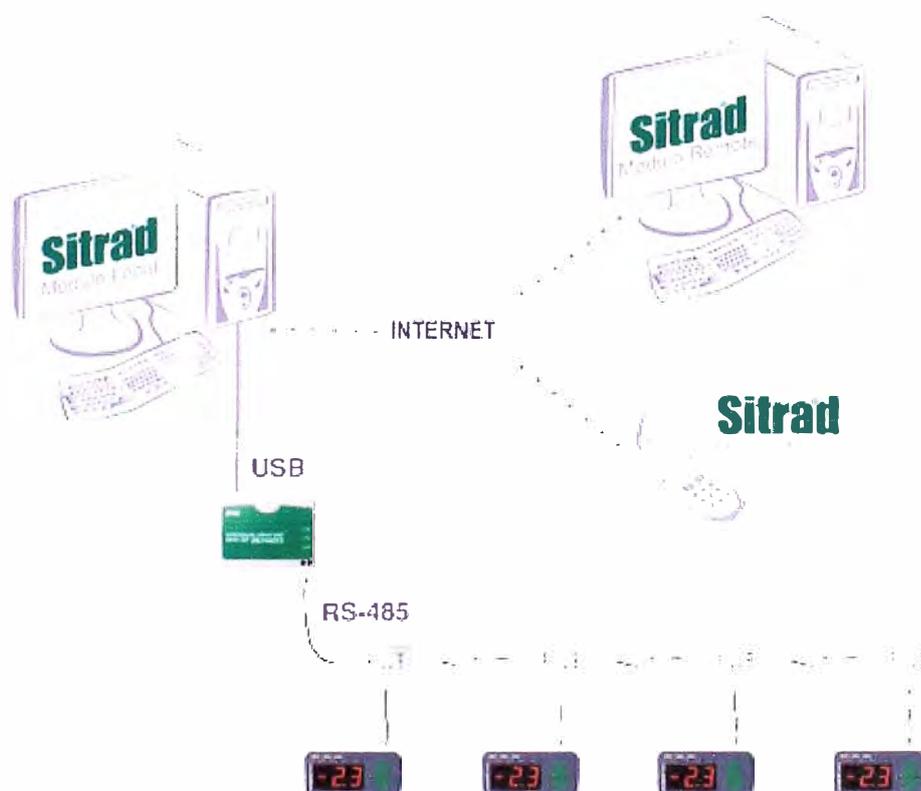
**Módulo REMOTE:** se comunicará con el módulo LOCAL, debiendo ser instalado en una computadora remota con acceso a Internet. Este modulo puede ser instalado en casa, en la computadora personal, o en cualquier otra computadora que se desee. Los requisitos mínimos de ese sistema son:

- Pentium 400 MHz o superior
- 10Mb de HD
- 64Mb de RAM (recomendable 192Mb)
- Windows 98/ME/NT/2003 (comunicación serial)
- Windows XP/2000 (comunicación serial y USB)
- Conexión con internet o intranet

**Módulo MOBILE:** funciona como el REMOTE, se comunica con el módulo LOCAL y realiza tareas semejantes, debiendo ser instalado en un celular con acceso a internet. Los requisitos mínimos del celular son:

- Permiso para la descarga de aplicativos Java.
- Configuraciones mínimas de Java: MIDP-2.0 y CLDC-1.1.
- Comunicación con la versión 4.6 del Sitrad LOCAL.

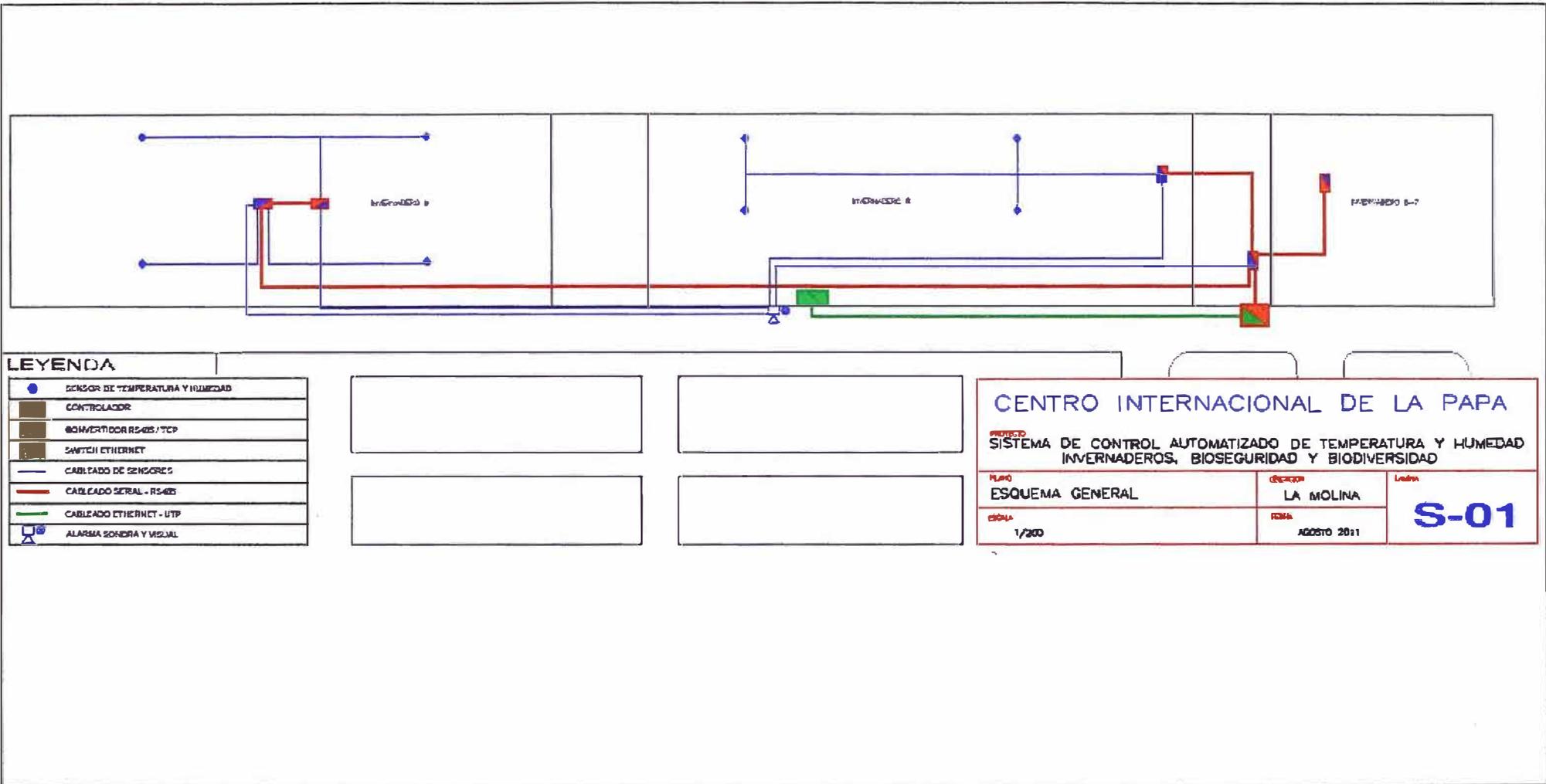
### Funcionamiento de Sitrad



## **ANEXO E**

### **Esquema general de conexión para la ampliación de la automatización**





**LEYENDA**

	SENSOR DE TEMPERATURA Y HUMEDAD
	CONTROLADOR
	CONVERTIDOR RS485 / TCP
	SWITCH ETHERNET
	CABLEADO DE SENSORES
	CABLEADO SERIAL - RS485
	CABLEADO ETHERNET - UTP
	ALARMA SONORA Y VISUAL


<b>CENTRO INTERNACIONAL DE LA PAPA</b>		
<b>PROYECTO SISTEMA DE CONTROL AUTOMATIZADO DE TEMPERATURA Y HUMEDAD INVERNADEROS, BIOSEGURIDAD Y BIODIVERSIDAD</b>		
<b>PLANO</b> ESQUEMA GENERAL	<b>UBICACION</b> LA MOLINA	<b>LEADER</b>
<b>ESCALA</b> 1/200	<b>FECHA</b> AGOSTO 2011	<b>S-01</b>

## BIBLIOGRAFÍA

- [1] Clive James, “Situación mundial de la comercialización de cultivos biotecnológicos”, International Service for the Acquisition of Agri-biotech Applications, 2010.  
<http://www.isaaa.org>
- [2] “Desarrollo y utilización de papas transgénicas resistentes a enfermedades bacterianas”, Centro Internacional de la Papa (CIP), Perú – 2000.
- [3] Sahlokhe Vilas/Sharma Ajay, “Greenhouse. Technology and Applications”, Agrotech Publishing Academy, India - 2006.
- [4] InfoAgro, “Tipos de Sustratos de Cultivo”, España - 2005.  
[http://www.infoagro.com/industria\\_auxiliar/tipo\\_sustratos.asp](http://www.infoagro.com/industria_auxiliar/tipo_sustratos.asp)
- [5] G. Stanhill/H. Enoch, “Ecosystems of the World”, Elsevier Science, Holanda - 1999.
- [6] Kaushik Kothari/Mathur, “Greenhouse. Science and Technology”, Himanshu Publications, India - 2006.
- [7] G N Tiwari, “Greenhouse Technology for Controlled Environment”, Alpha Science International, Inglaterra - 2003.
- [8] José M. González de Durana, “Automatización de Procesos Industriales”, Universidad Politécnica de Valencia, España – 2007.
- [9] Arnoldo Galetto, “Medición de Temperatura”, Electrónica Club SE, Argentina - 2007.  
<http://www.clubse.com.ar>
- [10] José Antonio Carballar, “El libro de las Comunicaciones del PC. Técnica, programación y aplicaciones”, Alfaomega Grupo Editor, México - 1997.
- [11] “Data Acquisition Systems Handbook”, Omega Engineering, Inc, USA - 1992.
- [12] “Temperature Measurement Handbook & Encyclopedia”, Omega Engineering, Inc, USA – 1992.
- [13] Francis Hale, “Introduction to Control System Analysis and Design”, Prentice Hall, USA - 1973.
- [14] Joe Hanan, “Greenhouses: Advanced Technology for Protected Horticulture”, CRC Press, 1998.
- [15] B. Kuo/F. Golnaragui, “Automatic Control Systems”, Prentice Hall, USA - 2003.

- [16] Ad Koning, “Models and Sensors in Greenhouse Control”, Holanda - 2006
- [17] R. García/A. Sierra/Y. Reyes/M. Rocha, “Invernadero inteligente para reducir costos en el cultivo de tomate en la zona metropolitana”, Instituto Politécnico Nacional, México – 2010.
- [18] Henry Mendiburu, “Automatización Medioambiental”, Perú – 2003.
- [19] Juan Mauricio Villanueva, “Sistemas lineales analógicos discretos”, Material de clase, Universidad Nacional de Ingeniería, Perú – 2010.
- [20] “Hints for selecting the correct temperature sensor for your application”, Agilent Technologies  
<http://cp.literature.agilent.com/litweb/pdf/5989-7800EN.pdf>
- [21] Juan José González de la Rosa, “Instrumentación Electrónica”  
[http://www2.uca.es/grupinvest/instrument\\_electro/ppjjgdr/Electronics\\_Instrum/Electronics\\_Instrum\\_Files/temas/T16\\_trans\\_temp.PDF](http://www2.uca.es/grupinvest/instrument_electro/ppjjgdr/Electronics_Instrum/Electronics_Instrum_Files/temas/T16_trans_temp.PDF)
- [22] Sitio oficial de CIP  
[www.cipotato.org](http://www.cipotato.org)
- [23] Sitio oficial de CGIAR  
[www.cgiar.org](http://www.cgiar.org)
- [24] Sitio oficial de Fullgauge  
[www.fullgauge.com](http://www.fullgauge.com)