

# **ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL**

## **ESCUELA DE INGENIERÍA**

### **MONITOREO DE RADIACIÓN SOLAR Y CONTROL DE ILUMINACIÓN DENTRO DE UN INVERNADERO CON LA UTILIZACIÓN DE INSTRUMENTACIÓN VIRTUAL**

**PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO EN  
ELECTRÓNICA Y CONTROL**

**OLGER EDMUNDO PALLANGO FERNANDEZ**

**DIRECTOR: Dr. LUIS CORRALES PAUCAR**

**Quito, Julio 2002**

## DECLARACIÓN

Yo Olger Edmundo Pallango Fernández, declaro bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentada para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente cedo mis derechos de propiedad intelectual correspondientes a este trabajo, a la Escuela Politécnica Nacional, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su reglamento y por la normatividad institucional vigente.

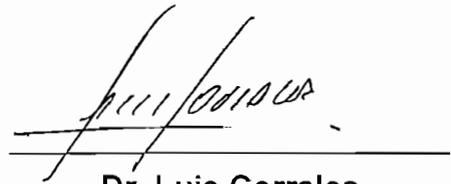


---

**Olger Edmundo Pallango Fernández**

## CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por Olger Edmundo Pallango Fernández, bajo mi supervisión.

A handwritten signature in black ink, appearing to read "Luis Corrales", is written over a horizontal line.

**Dr. Luis Corrales**  
**DIRECTOR DE PROYECTO**

## **AGRADECIMIENTO**

Mi Dios, gracias por darme lo que tengo, me impusiste pruebas muy duras pero así mismo ayudaste a poder superarlas.

A mis hermanos, ustedes son más que hermanos son verdaderos amigos su ayuda, cariño y comprensión ha sido un pilar fundamental en mi vida. Cuando más lo necesité siempre estuvieron presentes dejando todo de lado, pensando que el único objetivo es mejorar mi existencia.

A mis grandes amigos: Jenny, Augusto, Carlos, Daniel, Fabián, Hugo, Vicente con ustedes pasamos muchas vivencias, buenas malas pero siempre conté con todos para salir adelante. Me enseñaron que un tropiezo no es caída, que la grandeza de un hombre se alberga en el corazón, que la única meta es ser el mejor entre los mejores. Amigos sin temor a equivocarme se convirtieron en mis hermanos.

Por último quiero agradecer a mi Director de Proyecto Dr. Luis Corrales, él mismo que supo guiar acertadamente este trabajo y lo más importante me brindó su amistad.

## **DEDICATORIA**

A las personas más maravillosas del mundo, MIS PADRES Víctor y Celia, quienes con su amor y dedicación supieron guiarme para alcanzar mis objetivos. Les doy las gracias porque siempre estuvieron conmigo, confiaron en mi, lloraron mis derrotas se alegraron por mis triunfos. Gracias Dios por brindarme la dicha de tenerlos aún conmigo. Este triunfo no es mío sino de ustedes.

## CONTENIDO

RESUMEN.....	i
PRESENTACIÓN.....	iii

### CAPITULO 1

#### RADIACIÓN SOLAR: GENERALIDADES

1.1 OBJETIVO .....	1
1.2 CULTIVO BAJO INVERNADERO .....	2
1.3 LA RADIACIÓN SOLAR .....	7
1.3.1 DEFINICION .....	7
1.3.2 LEYES DE LA RADIACIÓN .....	9
10.2.1 Características del Sol .....	9
1.3.2.2 Intensidad de la Radiación .....	10
1.4 RADIACION Y FOTOSÍNTESIS .....	12
1.4.1 ESTIMACION DE LA RADIACIÓN SOLAR GLOBAL .....	13
1.5 MEDICION DE LA RADIACIÓN SOLAR GLOBAL .....	18
1.6 PIRANOMETRO.....	21
1.6.1 CARACTERISTICAS FÍSICAS GENERALES DE UN PIRANÓMETRO.....	22
1.6.2 CLASIFICACION .....	24
1.7 VALORES LÍMITES PARA ESPECIFICACIÓN DE PIRANOMETROS.....	24
1.8 CLASIFICACION DE ACUERDO A LA CATEGORÍA .....	25

<b>1.9 ILUMINACION ARTIFICIAL EN EL INVERNADERO .....</b>	<b>27</b>
1.9.1 LUZ Y CRECIMIENTO DE LAS PLANTAS .....	27
1.9.2 LUZ ARTIFICIAL EN EL INVERNADERO .....	28
<b>1.10 PROPUESTA DE DISEÑO .....</b>	<b>37</b>

## **CAPITULO 2**

### **DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL HARDWARE**

<b>2.1 DISEÑO DE LA ILUMINACIÓN ARTIFICIAL EN EL INVERNADERO.....</b>	<b>42</b>
2.1.1 CALCULO DE LOS CONDUCTORES PARA LAS LAMPARAS .....	44
2.1.2 ALAMBRADO DE LAS LAMPARAS .....	44
<b>2.2 DISEÑO DEL ACONDICIONADOR DEL SENSOR DE RADIACIÓN .....</b>	<b>45</b>
2.2.1 DESCRIPCION DEL PROBLEMA .....	45
2.2.2 CONSIDERACIONES DE DISEÑO .....	46
2.2.3 IMPLEMENTACION DEL CIRCUITO .....	47
<b>2.3 CARACTERISTICAS Y ALAMBRADO DEL PLC .....</b>	<b>52</b>
2.3.1 CONFIGURACION DEL MODULO EM 231 .....	56
2.3.2 MEMORIA DE LA CPU .....	60
<b>2.4 PROTECCIONES .....</b>	<b>66</b>

## CAPITULO 3

### DESARROLLO DEL SOFTWARE

<b>3.1 DIAGRAMA DE BLOQUES .....</b>	<b>67</b>
<b>3.2 DESCRIPCION DEL ALGORITMO DE CONTROL .....</b>	<b>69</b>
<b>3.3 DESCRIPCION GENERAL DE LA PROGRAMACIÓN EN EL PLC .....</b>	<b>75</b>
3.3.1 COMPONENTES DE LA VENTANA DE STEP 7 MICRO/WIN 32 .....	75
3.3.2 FUNCIONAMIENTO DEL PROGRAMA DE CONTROL .....	78
3.3.3 DESARROLLAR UN PROGRAMA .....	79
3.3.3.1 Elementos Básicos de un Programa de Control .....	79
3.3.3.2 Determinar las Unidades de organización del programa .....	79
3.3.3.3 Ventajas de las subrutinas .....	80
3.3.3.4 Rutinas de interrupción .....	80
3.3.3.5 Elementos y su funcionamiento .....	81
3.3.3.6 Configurar la comunicación utilizando el cable PPI .....	84
3.3.3.7 Verificar los parámetros estándar del interfase de comunicación .....	86
3.3.3.8 Establecer la comunicación con la CPU .....	89
3.3.3.9 Cambiar los parámetros de comunicación de la CPU .....	90
3.3.3.10 Tratamiento de la variable analógica .....	92
<b>3.4 DISEÑO DEL HMI .....</b>	<b>95</b>
3.4.1 DESCRIPCION DEL PROBLEMA .....	95
3.4.2 CONSIDERACIONES DE DISEÑO .....	97
3.4.3 IMPLEMENTACION DE LA HMI .....	98
3.4.3.1 Creación de una nueva aplicación .....	99
3.4.3.2 Pantallas implementadas .....	112
3.4.3.3 Presentación .....	113
3.4.3.4 Ingreso de usuarios .....	114
3.4.3.5 Planta .....	116

3.4.3.6 Pantalla de gráficos .....	119
3.4.3.7 Alarmas .....	120
3.4.3.8 Aviso_Alarma .....	120
3.4.3.9 Salida .....	121
3.4.3.10 Configuración del Server S7 200 PPI .....	127

## **CAPITULO 4**

### **PRUEBAS Y RESULTADOS**

<b>4.1 EVALUACION DEL HMI IMPLEMENTADO .....</b>	<b>129</b>
4.1.2 REQUERIMIENTOS DE LA HMI CUMPLIDOS .....	129
<b>4.2 COMPORTAMIENTO DE LA VARIABLE CONTROLADA .....</b>	<b>130</b>
4.2.1 CALIBRACION DEL SISTEMA .....	131
4.2.2 RESULTADOS OBTENIDOS .....	132

## **CAPITULO 5**

### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

<b>5.1 CONCLUSIONES .....</b>	<b>141</b>
<b>5.2 RECOMENDACIONES .....</b>	<b>143</b>

<b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>144</b>
---------------------------	------------

## **ANEXOS**

- ANEXO A ESPECIFICACIONES DEL SENSOR DE RADIACIÓN: CM3
- ANEXO B DATOS TÉCNICOS SOBRE LA CPU 224 AC/DC/RELE
- ANEXO C ESPECIFICACIONES DEL MODULO DE AMPLIACIÓN EM 231
- ANEXO D ESPECIFICACIONES DEL CABLE PC / PPI

## RESUMEN

El desarrollo tecnológico en el campo agrícola se ha encaminado a utilizar ambientes cerrados, denominados "Invernaderos", para mejorar las condiciones ambientales sobre los cultivos. Tomando en cuenta éstas necesidades, la Escuela Politécnica Nacional se ha preocupado por realizar investigaciones encaminadas a conocer y mejorar el cultivo en ambientes cerrados, es así que nace la idea de crear un Proyecto en el cual se abarque el estudio de aquellos factores que inciden en la termodinámica del invernadero. Una vez adquiridos los conocimientos necesarios, aplicar criterios de automatización y control para optimizar el entorno que rodea al cultivo. El mencionado Proyecto recibe el nombre de "Investigación y Desarrollo de Tecnologías para el Control de Parámetros Físicos de Cultivo bajo Invernadero".

El presente Proyecto se encarga de la Radiación Solar Global que incide sobre el cultivo tomando como objetivos fundamentales el monitoreo y control de los niveles de radiación solar, de igual manera la creación de una interfaz gráfica amigable al usuario como lo es Intouch. El controlador de campo está a cargo de un PLC.

La variable a medir presenta una característica de respuesta lenta, razón por la cual se utiliza un controlador tipo ON / OFF con lazo de histéresis implementado en el PLC. Para sensar la radiación solar se utiliza un Piranómetro, cuya señal está acondicionada de manera que cumpla con los requerimientos técnicos para ser un transmisor. La señal acondicionada ingresa al PLC a través de un módulo de entradas analógicas.

La HMI está implementada de forma que el usuario común pueda manejar la aplicación sin mayor inconveniente. Los datos obtenidos de la variable reflejan en su totalidad valores reales de radiación solar. Intouch es el encargado de registrar todas las medidas de la variable en cuestión, con la ayuda de sus Históricos, así se tiene

un registro pormenorizado que ayuda al investigador a conocer los niveles de radiación solar para nuestra realidad geográfica.

La comunicación entre el PC y el PLC es continua, el protocolo de comunicación utilizado es el S7 200 PPI en versión demo y cuya utilización es bastante simple y no por ser simple deja de ser muy efectivo para el desarrollo del presente Proyecto.

Con las diferentes pruebas aplicadas al sistema se observa que éste responde a las exigencias propuestas como objetivos primordiales y que además se acopla a los requerimientos implantados en el invernadero piloto ubicado en el edificio de Ingeniería Civil.

## PRESENTACIÓN

El trabajo realizado se orienta a diseñar y construir un sistema que permita monitorear y controlar los niveles de radiación dentro de un invernadero. La utilización del INTOUCH como interfaz gráfico permite generar un ambiente de trabajo interactivo y fácil para el usuario, en el cual pueden observarse todos los detalles que ocurren en la planta.

Los beneficios teóricos que se obtienen en los cultivos al aplicar el control de los niveles de radiación es muy alto pues la productividad promedio alcanza el doble ó el triple de la regular.

A continuación se describe un resumen del contenido para el presente proyecto:

En el Capítulo 1 se presentan algunas reflexiones de porque es conveniente el empleo de invernaderos para la producción agrícola, comparada con aquella que se realiza al aire libre enfocado el análisis a los efectos de la radiación solar. Además se describen métodos para medir radiación solar y de todos ellos el más conveniente para el Proyecto. El Piranómetro es ampliamente estudiado.

En el Capítulo 2 se explica sobre el Diseño y Construcción del Hardware. Aspectos como el diseño de la iluminación, alambrado de las lámparas, acondicionamiento de la señal del sensor de radiación, características y alambrado del PLC, así como las Protecciones del sistema son abordadas.

El Capítulo 3 contempla todo lo relacionado con el Software tanto del PLC como lo referente a la aplicación implementada. Se detallan aspectos como: diagramas de flujo tanto del programa residente en el PLC y de la HMI con esta información el lector puede fácilmente visualizar la estructura del sistema. Datos importantes de

funcionamiento y creación de nuevas aplicaciones son proporcionadas. En este punto se observa claramente la integración de todas las partes que conforman el Monitoreo y Control de los niveles de Radiación Solar.

En el Capítulo 4 se realiza una evaluación de los componentes de adquisición de datos y de la HMI, además se presentan los resultados obtenidos al manipular el sistema implementado.

Finalmente, en el Capítulo 5 se analizan los resultados obtenidos, se dan conclusiones sobre el trabajo realizado y se sugieren recomendaciones para mejorar partes constitutivas del presente Proyecto.

## **CAPITULO 1**

# **RADIACION SOLAR: GENERALIDADES**

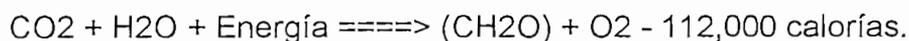
# CAPITULO 1

## RADIACION SOLAR: GENERALIDADES

### 1.1 OBJETIVO

La Energía entregada por el sol es un factor importante para el desarrollo de la vida en el planeta. Las plantas utilizan dicha energía para su crecimiento y fundamentalmente para la producción de sus frutos (efecto que se conoce como FOTOSINTESIS) aspecto que en la actualidad cobra gran importancia debido a la necesidad de producir alimentos en gran cantidad y al menor tiempo posible.

La fuente de toda la energía para todos los procesos físicos y biológicos que ocurren en la tierra es la radiación solar. Monteith (1958) indica que la agricultura es una explotación de la energía solar, a través del proceso de fotosíntesis, la cual es posible cuando existe un adecuado suministro de agua y nutrientes para las plantas. En su forma más simplificada la fotosíntesis puede ser cuantificada por:



Para que exista una explotación adecuada de la energía solar, la producción agrícola se ha visto abocada a la utilización de ambientes cerrados, los invernaderos, en los que se puede controlar los niveles de radiación solar. Al manifestar "Controlar los niveles de radiación solar" se quiere decir que cuando exista un déficit de ella, se realice un control tal que permita suplir los niveles de energía con métodos artificiales que para el presente caso, se utilizará iluminación artificial basada en lámparas cuya luz sea lo más cercana posible a la del sol, para ello se emplearán lámparas llamadas de luz del día. Para el caso contrario cuando los niveles de radiación solar global natural se encuentre en niveles adecuados se supla la fuente artificial de radiación. Este es el objetivo global y funcional de este proyecto.

De acuerdo a la fisiología vegetal, se recomienda que la planta este iluminada el mayor tiempo posible, con el objeto de aprovechar al máximo la fotosíntesis. Mediante este procedimiento se está en capacidad de optimizar el proceso fotosintético de los cultivos de lo cual se derivan sus beneficios.

Otro aspecto importante que se desea lograr es tener un registro pormenorizado de la variación de los niveles de radiación solar en nuestro medio, para ello se almacenarán datos en cada estación del año y, lo más importante, que la información recabada será un reflejo de nuestra realidad geográfica.

A continuación se presentan algunas reflexiones de porque es conveniente el empleo de invernaderos para la producción agrícola, frente a la producción al aire libre, enfocando en este análisis el desempeño de la radiación solar.

## **1.2 CULTIVO BAJO INVERNADERO**

La paulatina pérdida de mercados y la progresiva falta de rentabilidad del cultivo ha desencadenado un lento pero inexorable proceso de reconversión de la actividad agrícola comarcal. El empleo de los invernaderos tienen como finalidad *redimensionar* las superficies agrícolas y eliminar cultivos de rentabilidad marginal y excedentarios, además de tener la posibilidad de producir especies variadas y muchas de ellas no características de determinada zona climática.

Tras una visita por los distintos parajes se puede apreciar que más de la mitad de la superficie agrícola ha quedado baldío entrando en proceso de desertificación. Mediante el empleo de los invernaderos, se ha podido recuperar zonas agrícolas que en tiempos pasados eran imposibles de cultivar.

Uno de los factores que justifica la producción bajo invernadero constituye el hecho de que pueden crear microclimas.

## El microclima

El intervalo altitudinal comprendido entre los 500-600 metros es considerado como el límite que marca la rentabilidad de los invernaderos. Sobre esta altitud, el déficit térmico invernal de algunas zonas condiciona una productividad muy inferior a la deseada, además de retrasar la cosecha en momentos de máxima afluencia del producto a los mercados, con la consiguiente repercusión en su precio de venta.

La trascendencia de este último punto es tal que se considera de gran interés aclarar una serie de elementos y conceptos que deben ser tomados en consideración tanto por los que ya tienen invernaderos como por los que pretenden iniciarse en este tipo de agricultura. Es necesario que conozcan las modificaciones que sufre el clima del invernadero y como debe actuar para manejarlo. La Figura 1.1 muestra un invernadero en plena producción.



Figura 1.1 Invernadero en plena producción

El primer punto a considerar debe ser el emplazamiento. Se debe elegir un terreno expuesto durante todo el día al sol, huyendo de las vaguadas, quebradas, barrancos e incluso edificaciones que puedan dar sombra al invernadero durante algún momento del día. Se huirá igualmente del fondo de los valles donde puedan depositarse masas de aire frío en los meses invernales y de los lugares donde sean frecuentes las nieblas que impidan que la radiación solar llegue al suelo con toda su intensidad.

Una vez elegido el emplazamiento habrá que decidir qué orientación es la mejor, siempre y cuando no haya otras limitantes de mayor peso, tales como inclinación del terreno, viento, etc. Con la orientación Norte-Sur se consigue una mayor captación de energía solar, obteniéndose una mejor iluminación compensada a lo largo del día por el recorrido aparente del sol sobre el horizonte. Esto se traduce en una mayor homogeneidad y simultaneidad de desarrollo. En cambio la orientación Este-Oeste da un mayor desarrollo al lado sur.

Deberá limitarse la anchura de los invernaderos según la climatología del paraje, con el fin de conseguir una buena eficiencia de la ventilación lateral, si no se cuenta con ventilación cenital. Igualmente, la pendiente de la cubierta será la suficiente para facilitar la evacuación de las precipitaciones, limitando la anchura de estas construcciones.

El objeto de todo invernadero es la modificación del clima interno del recinto, entendiendo como tal a la conjunción e interacción de diversos factores. Entre estos se debe destacar los siguientes: temperatura, luminosidad y humedad del aire.

La temperatura es quizá el componente del clima con mayor peso específico en el desarrollo de todos los procesos biológicos de la planta. Tanto la temperatura del aire como del suelo son la resultante de un equilibrio energético entre la energía incidente procedente del sol y la emisividad del invernadero.

A lo largo del día la temperatura del invernadero varía constantemente, pudiendo llegar en determinadas circunstancias a desbordar los valores considerados como óptimos para los cultivos hortícolas, no sólo por arriba sino por debajo de dichos valores, registrándose también grandes oscilaciones térmicas día / noche con diferencias entre máximas diurnas y mínimas nocturnas.

Mediante el manejo correcto de la apertura de los sistemas de ventilación, laterales o cenitales, se conseguirá eliminar el calor excedente y procurar un mejor confort a la planta. También existen diferentes artificios de sombreado ya sea con malla externa al invernadero o encaladó.

Cuando las condiciones sean a la inversa, es decir, cuando sea necesario captar y conservar la temperatura lo más alta posible, en los meses invernales, igualmente será el manejo de la ventilación lo que ayude a conseguirlo, y mejor aún si se recurre al empleo de doble techo con el que se puede conseguir una ganancia del orden de los 4°C.

Existe una estrecha relación entre la temperatura y la humedad. Así, al descender la temperatura y al tener las paredes del invernadero una temperatura inferior a la del punto de rocío del aire se producen condensaciones sobre las mismas, e incluso sobre las plantas que, dependiendo de su temperatura se pueden crear condiciones favorables al desarrollo de enfermedades.

Durante la noche, la condensación actúa como barrera protectora evitando o al menos frenando la pérdida de radiaciones caloríficas. Por el contrario, durante el día reflejará una parte de la radiación solar limitando la entrada de la luz y a la vez la energía calorífica, debiendo eliminarse mediante ventilación u otros medios.

En cuanto a la evapotranspiración, el invernadero es un elemento protector al eliminar la acción del viento, con lo cual se mejora el equilibrio hídrico de la planta.

Anteriormente se ha comentado la importancia del correcto emplazamiento y orientación del invernadero con vistas al mejor aprovechamiento de la radiación solar, uno de cuyos componentes es la luz. Esta actúa a través de tres procesos sobre el desarrollo de los vegetales:

- La fotosíntesis, mediante la cual la planta transforma la energía luminosa en energía química, indispensable para la síntesis de todos los compuestos orgánicos a partir del CO<sub>2</sub> del aire, al ser absorbida dicha energía por la clorofila.
- La fotomorfogénesis, que es el efecto producido por la luz sobre la formación de la planta, desde la germinación de la semilla hasta su formación completa. La calidad, cantidad y tipo de luz condicionan la morfología de la planta.
- El fitoperiodismo, o fenómeno por el cual las plantas reaccionan de forma diferente a la duración de la luz diurna a que están expuestas. Así, por ejemplo, algunas plantas sólo florecen cuando la duración es inferior a un valor crítico determinado (plantas de día corto), mientras que otras plantas requieren que dicho valor crítico sea superado para florecer (plantas de día largo).

El empleo de mallas de sombreo y de filmes plásticos con efectos difusores frente a la luz tienen una gran importancia para controlar este factor.

Por último, se debe hablar de la composición del aire confinado en el recinto del invernadero ya que actúa, desde el punto de vista químico, en el desarrollo del vegetal.

El componente más importante en este desarrollo es el CO<sub>2</sub> (anhídrido carbónico - dióxido de carbono), anteriormente reseñado al hablar de la fotosíntesis o función clorofílica. Dicho contenido de CO<sub>2</sub> en el aire del invernadero sufre a lo largo del día, oscilaciones considerables. Así, en las primeras horas de la mañana suele ser alta como consecuencia del CO<sub>2</sub> expedido por la planta en el proceso nocturno de respiración, que es inverso en este aspecto a la fotosíntesis.

A medida que aumenta la luminosidad del día la absorción de anhídrido carbónico es cada vez más intensa, bajando consiguientemente su concentración. Para compensar este descenso de forma natural se puede recurrir la apertura de las ventanas o sistemas de ventilación, procurando un intercambio gaseoso con el aire exterior que normalmente mantiene siempre una tasa aceptable de carbónico.

Por lo expuesto, respecto a la climatología de los invernaderos, podrá comprenderse que el agricultor que se inicia en este tipo de cultivo encontrará notables dificultades que no se le habían presentado con cultivos al aire libre. Por ello, con estas breves reflexiones, se ha intentado concienciar de la importancia que tiene el conocimiento y control de los mecanismos de algunos de los factores más determinantes sobre la producción y rentabilidad de los cultivos.

### **1.3 LA RADIACION SOLAR**

#### **1.3.1 DEFINICIÓN**

La radiación solar es la energía emitida por el sol. En el caso agrometeorológico solamente interesa la radiación que procede del sol y que logra llegar a la Tierra. Generalmente, se identifica la radiación solar con la irradiación energética, que es la energía que llega por unidad de superficie y de tiempo.

De manera más formal radiación solar o energía radiante son ondas electromagnéticas que se propagan en el espacio a la velocidad de la luz y en línea recta. Se les denomina ondas electromagnéticas, porque todas se propagan con carácter ondulatorio y porque electricidad y magnetismo no existen por separado.

LUZ = es un tipo de energía cuya longitud de onda esta comprendida dentro del espectro visible.

**CALOR** = es la energía que al pasar por un cuerpo acelera el movimiento de sus moléculas.

Las ondas son fenómenos vibratorios que producen las partículas del medio donde se originan (aire, agua, cable, cuerda, metal, etc.). Su estudio permite entender cómo se produce la energía eléctrica, cómo se transmite la luz y el calor, cómo se producen y transmiten los sonidos, cómo se pueden generar, transmitir y recibir señales de radio y televisión y movimientos de agua en el mar, entre otros.

Las ondas tienen las siguientes características: Se originan con las oscilaciones de alta frecuencia de las partículas cargadas eléctricamente, las ondas electromagnéticas se desplazan a la velocidad de la luz (300,000 Km./seg.), los campos eléctricos y magnéticos son perpendiculares entre sí. Una onda se compone de **crestas**: que es la cima o parte más alta de la onda, **valle**: que es la parte más baja, **longitud de onda**: que es la distancia que hay entre dos crestas sucesivas y varían desde una cien millonésima de milímetro hasta varios kilómetros, **amplitud**: es la mitad de la altura entre una cresta y un valle, **frecuencia**: es el número de ondas que pasan por segundo por un punto determinado. Las diferencias entre ondas se da principalmente por su longitud de onda, su amplitud y frecuencia.

Todos los cuerpos que tengan una temperatura superior al cero absoluto emiten radiación. La energía irradiada aumenta con la temperatura del cuerpo, mientras que la longitud de onda es más pequeña al elevarse su temperatura, por esto los cuerpos calientes irradian mas calor y a longitudes de onda más pequeñas. Como referencia, a continuación se listan las longitudes de onda de ciertas frecuencias conocidas:

Radio onda larga	103.33 m	= 100,000 Am
Radio AM		= 103 a 102 Am
Radio Onda corta, FM TV		= 102 a 1 Am

La radiación solar recibida en la superficie de la tierra es el origen de casi todos los fenómenos meteorológicos y de sus variaciones en el curso de los días y los años. Está formada por radiaciones de diferentes longitudes de onda, principalmente por:

- a) Rayos luminosos. Su longitud de onda varía de 0.36 a 0.76 micrones ( 1mm = 1000 micrones).
- b) Rayos ultravioleta o químicos. No son visibles y su longitud de onda es menor de 0.36 micrones.

En las plantas causan efectos detrimentales o germicidas.

- c) Rayos térmicos o caloríficos, tampoco son visibles y su longitud de onda es mayor de 0.76 micrones.

Intervienen en muchos procesos metabólicos. No se conocen efectos sobre las plantas. Aparentemente son absorbidos y transformados en calor sin interferir en los procesos bioquímicos.

## **1.3.2 LEYES DE LA RADIACION**

### **1.3.2.1 Características del sol**

El sol es una estrella blanco amarilla, cuyas características como su diámetro, superficie y atmósfera, son conceptos subjetivos, al tratarse de un cuerpo totalmente gaseoso.

Esta estrella de gas incandescente está compuesta por 70% de hidrógeno, 28% de helio y 2% de átomos pesados. En el núcleo del sol se presentan temperaturas del orden de los 15 millones de grados Kelvin, lo que permite que se efectúen reacciones termonucleares como la fusión de átomos de hidrógeno para formar átomos de helio. La temperatura disminuye hacia la superficie, y la convección favorece la evacuación

de la energía producida y la sustitución del helio por hidrógeno, como resultado de esto el sol emite enormes cantidades de energía en forma de radiaciones electromagnéticas como: rayos luminosos, ultravioletas y caloríficos.

Algunas medidas del sol son:

- ❖ Radio de 696,000 km (109 radios de la tierra)
- ❖ Temperatura central de  $1.5 \times 10^7$ ° K
- ❖ Temperatura en la superficie  $5.8 \times 10^3$ ° K = 6,000° K.

### 1.3.2.2 Intensidad de la radiación

Es la cantidad de energía que se recibe sobre una superficie en la unidad de tiempo, se expresa en calorías por  $\text{cm}^2$  por minuto ( $\text{cal} / \text{cm}^2 * \text{min.}$ ). Supóngase una caja pequeña que contiene  $24 \text{ cm}^3$  de agua a una temperatura de  $20^\circ \text{C}$  la cual se expone al sol durante 4 minutos y la temperatura sube a  $23^\circ \text{C}$ . La caja tiene las siguientes dimensiones 4cm de largo, 3 cm de ancho y 2 cm de profundidad. La radiación le llega solamente sobre la cara superior. Se desea conocer cuanta es la energía que se transfirió.

$$\text{Volumen} = 3 \times 4 \times 2 = 24 \text{ cm}^3$$

$$\text{Superficie de exposición} = 3 \times 4 = 12 \text{ cm}^2$$

$$\text{Tiempo de exposición} = 4 \text{ minutos}$$

$$\text{Incremento de temperatura} = \text{de } 20 \text{ a } 23^\circ \text{C} = 3^\circ \text{C}$$

SOLUCION

$$\text{Calor recibido} = 24 \times 3 = 72 \text{ calorías gramo}$$

$$\text{Energía recibida por unidad de superficie} = 72 / 12 = 6 \text{ cal} / \text{cm}^2$$

$$\text{Energía por unidad de superficie y tiempo} = 6 = 1.5 \text{ cal} / (\text{cm}^2 * \text{min.})$$

### 1.3.2.3 Cálculo de la radiación teórica extraterrestre

La radiación teórica extraterrestre ( $R_a$ ) es la energía recibida sobre una superficie horizontal en el límite superior de la atmósfera terrestre.  $R_a$  varía con la época del año y con la latitud, debido a las variaciones en el eje de inclinación de la tierra, y a la trayectoria de ésta alrededor del sol.

$R_a$  esta dada por la siguiente ecuación (Sellers, 1969):

$$R_a = \left( \frac{1440}{\pi} \right) * I * [0.01745 * h_s * \text{sen}(\text{decli}) * \text{sen}(\text{lat}) + \cos(\text{decli}) * \cos(\text{lat}) * \text{sen}(h_s)]$$

Ec. (1)

Donde:

$R_a$  = Radiación teórica extraterrestre ( $\text{cal} / (\text{cm}^2 * \text{día}^1)$ )

$I$  = Constante solar real ( $\text{cal} / (\text{cm}^2 * \text{min.})$ )

$h_s$  = Angulo horario de la salida del sol (en grados)

$\text{decli}$  = Declinación solar (en grados)

$\text{lat}$  = Latitud (en grados)

$dj$  = día ordinal del año (1 a 365)

$$I = 1.97 * \left[ 1 + \frac{1}{30} * \cos \left( 360 * \frac{dj}{365} \right) \right]$$

Ec. 2

$$\text{decli} = 23.45 * \text{sen} \left[ 360 * \frac{(284 + dj)}{365} \right]$$

Ec. 3

$$h_s = \arccos[-\tan(-\text{decli}) * \tan(\text{lat})]$$

Ec. 4

$$N = 2 * \left( \frac{h_s}{15} \right)$$

Ec.5

$$h_{ss} = 12 - \left( \frac{hs}{15} \right)$$

Ec. 6

$$h_{ps} = 12 + \left( \frac{hs}{15} \right)$$

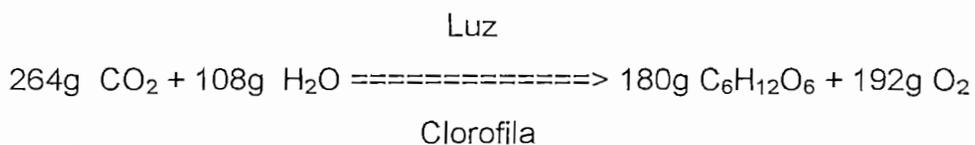
Ec. 7

La constante solar se define como la cantidad de energía medida en un punto medio entre la tierra y el sol. La tierra gira alrededor del sol en una órbita elíptica, en donde el sol representa el foco de la elipse. La distancia más cercana de la tierra al sol es de  $1,47 \times 10^6$  km y ocurre el 3 de enero, conocido como PERIHELIO. AFELIO es la distancia más lejana, ocurre el 4 de julio y tiene un valor de  $1,52 \times 10^6$  km.

## 1.4 RADIACION Y FOTOSINTESIS

El proceso de la fotosíntesis es la descomposición de las moléculas de agua y dióxido de carbono,  $\text{CO}_2$ , mediante la energía de la luz, y su recombinación en moléculas de azúcar, en las que la energía se almacena en forma potencial y de donde se puede liberar nuevamente a través de la respiración. La luz proporciona la fuerza motriz para éste proceso.

La clorofila absorbe dos longitudes de onda; la del rojo de 6600 Am a 6800 Am y la del azul de 4800 Am a 5000 Am. La ecuación de la fotosíntesis puede expresarse como:



En la reacción se convierten 674,000 calorías de energía cinética en energía química almacenada en la molécula de azúcar. Para producir 1 g de glucosa se necesitan 3,744 calorías (674000/180), 6.2 veces más energía que la necesaria para evaporar 1 g de agua a 0° C.

La variación de Ra y N en espacio y tiempo (a lo largo del año), repercute en la energía que los cultivos tienen disponible para realizar fotosíntesis, y esto determina en gran medida su productividad, entre otros muchos factores.

#### **1.4.1 ESTIMACION DE LA RADIACION SOLAR GLOBAL.**

La radiación solar es un factor importante en agro - meteorología y solo un número reducido de estaciones registran esta variable. La radiación global (Rg) es la suma de la radiación solar directa más la radiación difusa. El conocimiento de la variación espacial y temporal de la Rg es de suma importancia en la producción de cultivos.

En vista de estos problemas algunos autores han tratado de correlacionar la radiación global recibida en un lugar determinado con ciertas variables que sean fáciles de medir como las horas brillo sol o con el grado de nubosidad del cielo.

Existen varios métodos para estimar la radiación global Rg

- 1) Método de Prescott (1940).
- 2) Método de Glover y McCulloch (1958).
- 3) Método de Reddy (1971).
- 4) Método de Norero.
- 5) Método de Black (1956).
- 6) Método de Frere (1975).

## 1. METODO DE PRESCOTT (1940), (Citado por Ortiz 1987).

La ecuación de Prescott establece que:

$$\frac{R_g}{R_a} = a + b * \left( \frac{n}{N} \right) \quad (\text{Ec. 8})$$

Donde:

R<sub>g</sub> = Radiación global, cal / (cm<sup>2</sup> \* día)

R<sub>a</sub> = Radiación teórica extraterrestre, cal / (cm<sup>2</sup> \* día)

n = Horas brillo sol (horas)

N = Fotoperíodo (horas)

a y b = Constantes de Regresión.

Prescott analizando muchas estaciones del mundo propone los coeficientes a=0.22 y b=0.54 por lo que la ecuación 8 quedaría:

$$\frac{R_g}{R_a} = 0.22 + 0,54 * \left( \frac{n}{N} \right)$$

Analizando esta ecuación, se presentan dos casos:

- i) en días totalmente transparentes, las horas brillo sol son igual al fotoperíodo, es decir n=N o n/N=1.0, substituyendo se tiene:

$$\frac{R_g}{R_a} = 0.22 + 0.54 * (1) = 0.22 + 0.54 = 0.76$$

$$\frac{R_g}{R_a} = 0.76$$

$$R_g = 0.76 * R_a$$

Lo cual coincide con el hecho de que en promedio llega el 80% de la radiación teórica extraterrestre para días totalmente transparentes.

- ii) En días totalmente nublados, las horas brillo sol son cero, es decir  $n=0$  y  $n/N=0$ , substituyendo se tiene:

$$\frac{R_g}{R_a} = 0.22 + 0.54 * (0) = 0.22$$

$$\frac{R_g}{R_a} = 0.22$$

$$R_g = 0.22 * R_a$$

Lo cual también coincide con el hecho de que en promedio llega 20% de la radiación teórica extraterrestre en días nublados. Los coeficientes propuestos por Prescott, han sido generados utilizando estaciones de todo el mundo, por lo que representan condiciones promedio. Para aplicar esta ecuación a una región o una estación dada es necesario estimar nuevamente los coeficientes a y b.

Por su parte Doorembos y Pruitt (1975) utilizan los coeficientes  $a = 0.25$  y  $b = 0.50$ . Black, Bonython y Prescott (1954), citados por Ortiz, 1987, proponen los coeficientes 0.23 y 0.48 en un estudio que comprendió desde los trópicos hasta las regiones polares.

Más recientemente, Frere y Popov (1980), citados por Ortiz 1987, a partir de un gran número de mediciones realizadas en el curso de proyectos de la FAO,

indican tres conjuntos de coeficientes que permiten obtener buenos resultados en las diversas zonas del mundo. Estos conjuntos de coeficientes se presentan en la Tabla 1.1.

A	b	ZONAS DE APLICACION
0.18	0.55	Frías y Templadas
0,25	0,45	Tropicales Secas
0,29	0,42	Tropicales húmedas

Tabla 1.1 Coeficientes para distintas zonas de aplicación.

## 2. METODO DE GLOVER Y McCULLOCH, 1958 (Citado por Ortiz, 1987).

Este método esta dado por la siguiente ecuación:

$$\frac{R_g}{R_a} = 0.29 * \text{Cos}(\text{lat}) + 0.52 * \left( \frac{n}{N} \right)$$

(Ec. 9)

Donde:

R<sub>g</sub> = Radiación global, cal / (cm<sup>2</sup> \* día)

R<sub>a</sub> = Radiación teórica extraterrestre, cal / (cm<sup>2</sup> \* día)

n = Horas brillo sol (horas)

N = Fotoperiodo (horas)

Lat = Latitud (en grados).

Este método es valido para latitudes de 0 + 60 °

### 3. METODO DE J. REDDY, 1971 (Citado por Arteaga, 1990).

Trata de relacionar la cercanía con el mar, latitud y otras condiciones, expresadas por la siguiente ecuación:

$$R_g = K * \frac{\left[1 + 0.8 * \left(\frac{n}{N}\right)\right] (1 - 0.2 * T)}{h} \quad (\text{Ec. 10})$$

Donde:

$R_g$  = Radiación global, cal / (cm<sup>2</sup> \* día)

$T = r / M$

$r$  = # de días con lluvias por mes

$M$  = # de días del mes

$h$  = Humedad relativa en decimos, y

$K = (a N + Y_{ij} * \text{Cos}^*(\text{Lat}) ) * 100$

Donde:

$N$  = Fotoperíodo

$\text{Lat}$  = Latitud (en grados)

$Y_{ij}$  = Factor estacional.

$i=1,2$  1= Estacion en el continente,

2= Estación en la costa.

$j=1,2,\dots,12$  1 - 12 meses.

$a$  = Factor de latitud.

$$a = \frac{0.2}{1 + 0.1 \text{ Lat}}$$

Como se puede observar, los métodos anteriormente descritos se emplean para el cálculo matemático de la radiación solar global. En la práctica suelen utilizarse métodos e instrumentos para obtener dicho valor, los mismos que se presentan a continuación.

## 1.5 MEDICIÓN DE LA RADIACIÓN SOLAR

La radiación solar al nivel del suelo se suele medir actualmente con diferentes tipos de aparatos, con características y grados de precisión diversos, utilizados en estaciones meteorológicas y en laboratorios especializados.

El aparato más elemental es el heliógrafo, como el modelo Campbell-Stokes, que se emplea como un Instrumento registrador de los intervalos de tiempo durante los cuales la radiación solar alcanza una intensidad suficiente para producir sombras distintas. en este tipo de heliógrafo el sol quema una cartulina graduada en horas, la cual está arrollada concéntricamente debajo de la esfera de vidrio. El recuento de intervalos quemados proporciona las horas de sol efectivo del día sin llegar a determinar la intensidad de la radiación solar (Figura 1.2.a).

El instrumento más convencional para la toma de datos fiables es el **piranómetro**, que permite medir la intensidad de la radiación solar que incide sobre una superficie. Generalmente se monta horizontalmente, midiendo la radiación solar horizontal total, que es la suma de la radiación directa más la difusa. También puede medirse sólo la radiación difusa si se obstruye la radiación directa en su recorrido aparente mediante un estrecho anillo convenientemente situado (Figura 1.2.b).

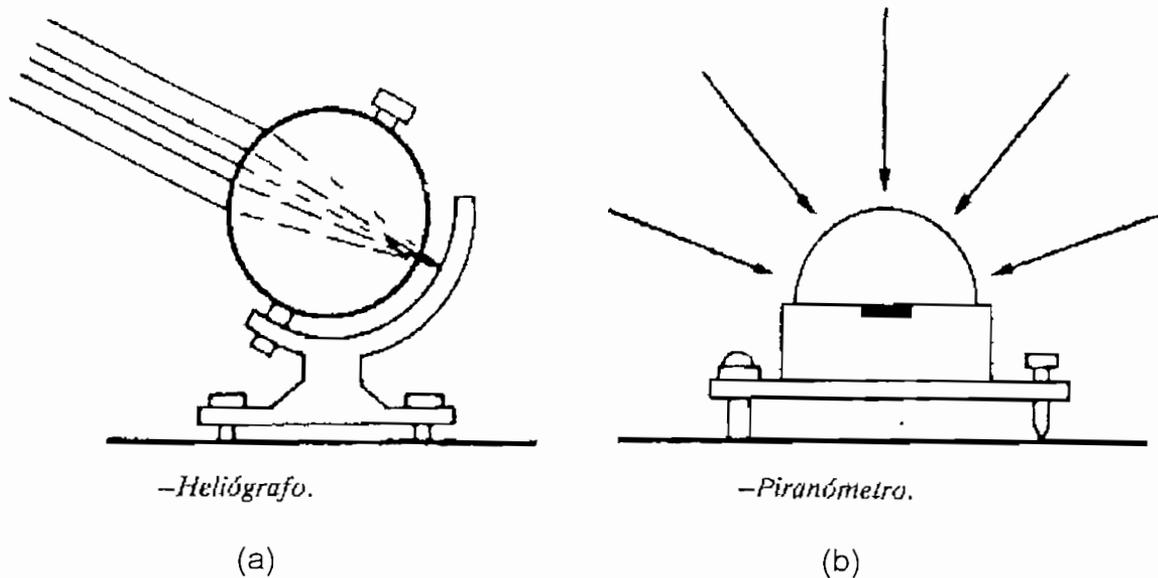


Figura 1.2 Esquemas de un Heliógrafo y un Piranómetro

Es posible utilizar piranómetros para medir radiación directa y difusa por separado, de la siguiente forma. Se requieren dos piranómetros. Uno de ellos se instala horizontalmente y mide radiación global. Al otro se le coloca una "sombra" que consiste en una banda o un disco para obstruir la radiación directa. Entonces, este piranómetro medirá sólo radiación difusa. La resta de la global menos la difusa, da como resultado la directa.

Otro instrumento más sofisticado es el pirheliómetro, que mide la radiación directa normal, por lo que es necesario enfocarlo directamente al sol en su movimiento. Este aparato de precisión permite estudiar bandas del espectro mediante el uso de filtros. Un dato que se suele tomar en las estaciones es la nubosidad del cielo, que se mide visualmente en  $1/8$  o  $1/10$  de cielo cubierto, a veces con descripción del tipo de nubes, pero que tiene poca precisión por su naturaleza de observación visual.

La mayoría de las estaciones meteorológicas disponen de heliógrafos, aunque solo las más importantes disponen además de piranómetros, siendo los centros de

investigación los únicos que disponen de pirheliómetros u otros aparatos solares de laboratorio. En la práctica es relativamente sencillo obtener datos de horas de sol efectivas para poblaciones importantes, pero son escasas aquellas estaciones que proporcionen datos de radiación global diaria, por no mencionar aquellas en las que además se dispongan de datos de radiación horaria o difusa. En la Figura 1.3 se muestra un Piranómetro espectral de precisión.

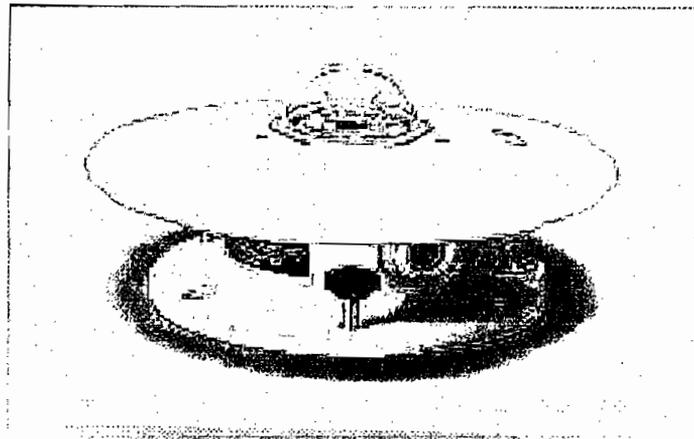


Figura 1.3 Piranómetro Espectral de Precisión.

Por lo expuesto anteriormente, es fácil deducir que para la medición de la radiación solar se presentan algunas limitaciones, que en resumen serían:

- Aparatos que únicamente registran horas efectivas de sol.
- Se requieren Instrumentos complejos, los cuales requieren un montaje especial, que posibilite seguir al sol en su trayectoria.
- La medición obtenida es una parte de la requerida (es decir, o bien se registra la radiación directa, o la difusa por separado mas no la global).
- Para obtener mediciones más precisas, se requieren aparatos que solo los laboratorios especializados los poseen, y por lo tanto su costo es muy elevado.

- Si se opta por métodos matemáticos, en los cuales intervienen formulaciones, se tiene el inconveniente de que resultan medidas que pueden en cierto instante no ser reales, debido a que en las expresiones matemáticas no se toman en cuenta factores como días nublados repentinos, cambios climáticos no usuales, aproximaciones estadísticas para obtener las formulaciones, etc.

Al estudiar éstas limitaciones se toma como **alternativa** para la medición de la radiación solar el empleo del piranómetro, debido a su versatilidad de uso, su precisión es muy aceptable, el costo es accesible y depende del grado de precisión en su medida. Como se trata de un sensor su señal de salida puede ser acondicionada, de acuerdo con las necesidades y aplicaciones en las que se lo vaya a emplear, se lo utiliza tanto para aplicaciones meteorológicas como para agro – industriales.

A continuación se detalla el principio y funcionamiento del piranómetro.

## 1.6 PIRANOMETRO

El tipo más común de piranómetro, consiste en dos sensores de temperatura, uno de ellos expuesto a la radiación solar y ennegrecido, y el otro protegido de la radiación. Si los dos sensores se encuentran en condiciones similares en todo, menos en el hecho de estar expuestos a la radiación, habrá una diferencia de temperatura entre ellos. La hipótesis de trabajo de un piranómetro, es que la irradiancia es directamente proporcional a la diferencia de temperatura entre ambos sensores. Para evitar ruido en las lecturas, causado por el viento y otros factores meteorológicos, el sensor expuesto a la radiación (y a veces también el otro) suelen estar protegidos por un hemisferio de vidrio. Este hemisferio, de características ópticas adecuadas, permite el paso de la radiación, pero evita el enfriamiento por viento, lo cual alteraría la lectura. La Figura 1.4 muestra las principales partes de un piranómetro.

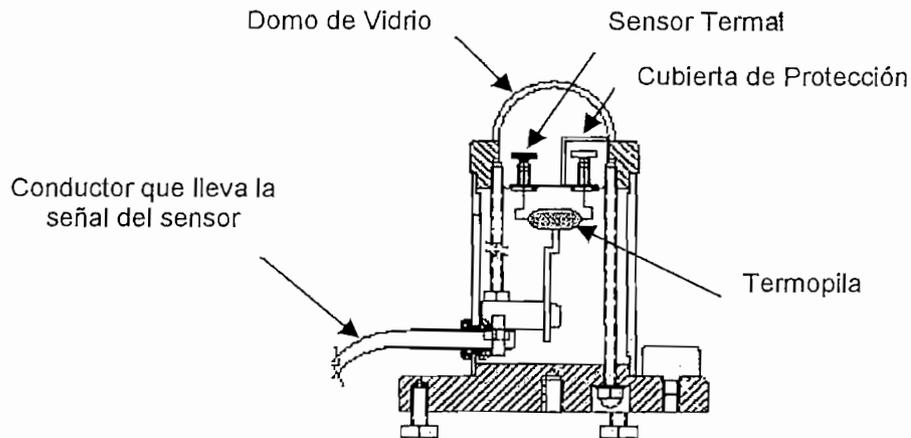


Figura 1.4 Partes de un Piranómetro.

Para el presente Proyecto se empleará el piranómetro **CM 3**, de la Kipp & Zonen el mismo que cumple con la **NORMA ISO 9060** para instrumentos de **second class** y cuyas características obtenidas de la Norma son las siguientes:

#### 1.6.1 CARACTERISTICAS FISICAS GENERALES DE UN PIRANOMETRO

Los límites espectrales se miden solamente por sensores termales, equipados con superficies absorbentes, lo que permite una respuesta espectral uniforme requerida por un piranómetro.

Los sensores termales transforman la energía radiante en energía termal con un consecuente aumento en la temperatura del plano de recepción. Este aumento en la temperatura es balanceado por varias clases de pérdidas de calor o pérdidas termales.

El sensor termal de un piranómetro está protegido de viento, lluvia y polvo así como el intercambio de radiación termal por uno o dos domos de vidrio, el mismo que confina la transmitancia espectral al rango propuesto ( $0,3 - 3 \mu\text{m}$ ).

Las principales partes de un piranómetro son:

- a) El sensor termal, cuya superficie receptora se encuentra pintada de negro o alternativamente de negro y blanco.
- b) El domo de vidrio (uno o dos), el cual cubre concéntricamente la superficie receptora.
- c) El cuerpo, el cual a menudo está cubierto por un protector de pantalla y utilizado como una referencia termal.

## TIPOS

El tipo general de piranómetro es el "termoeléctrico", el cual está equipado con una termopila (a veces llamada una termobatería), midiendo la diferencia de temperatura entre la superficie receptora ennegrecida (juntura activa) y el cuerpo (juntura pasiva). La posición y número de las juntas activa y pasiva son muy diferentes, en diferentes pirran metros. Generalmente estos sensores son cubiertos por dos domos de vidrios concéntricos.

Un tipo especial de piranómetro es el "piranómetro blanco – y – negro ". Sus juntas pasivas son conectadas termalmente a segmentos blancos los cuales son regularmente distribuidos sobre la superficie receptora. Generalmente solo un domo es utilizado en este tipo de aparato.

Existen comercialmente disponibles piranometros que son auto evaluados por medio de sustitución eléctrica de potencia radiante.

### 1.6.2 CLASIFICACION

La clasificación de piranómetros esta basada exclusivamente en las especificaciones de medición de los instrumentos en concordancia con la designación y calidad de manufactura.

Nota: La precisión en la medida de la radiación solar de los piranómetros depende no solo de la categoría del instrumento sino de:

- a) Los procedimientos de calibración
- b) Condiciones de medición y mantenimiento, y
- c) Condiciones ambientales.

El esquema de clasificación esta basado en varias especificaciones las mismas que están dadas en la Tabla 1.2.

Tres categorías de piranómetros son definidas a continuación:

- a) Piranómetro Standard Secundario.
- b) Piranómetro de primera clase.
- c) Piranómetro de segunda clase.

## 1.7 VALORES LIMITES PARA ESPECIFICACION DE PIRANOMETROS

La especificación de piranómetros puede ser agrupada como sigue:

- a) El tiempo de respuesta (una medida de la inercia termal en el periodo de estabilización para una lectura final).
- b) El off-set cero (una medida de la estabilidad del punto-cero especificado para el efecto de radiación termal y para una temperatura temporal).

c) La dependencia o respuesta resultante de

1. Efectos ajenos (una medida de la estabilidad térmica alta).
2. El nivel de irradianza (una medida de la no linealidad).
3. La dirección de la irradianza (una medida de la desviación “cosine behaviour” y la variación azimutal, ideal).
4. La distribución espectral de irradianza (una medida de la selectividad espectral).
5. La temperatura del cuerpo del piranómetro, y
6. El ángulo de inclinación de la superficie receptora.

Las especificaciones dadas en la Tabla 1.2 a menudo deben ser verificadas por pruebas.

## 1.8 CLASIFICACION DE ACUERDO A LA CATEGORIA

La clasificación de un piranómetro puede ser aplicada a instrumentos individuales o a grupos de ellos (tipos particulares), dependiendo de la categoría.

Una clasificación como **Piranómetro Standard Secundario**; puede ser solo aplicada a un instrumento individual si completa con todas las especificaciones dadas en la Tabla 1.2.

Una clasificación como un **Piranómetro de clase secundaria** puede ser obtenida en el caso de un instrumento individual o para un tipo particular de piranómetro que cumpla las especificaciones

Piranómetro pueden ser clasificado como de **primera clase** para propósitos de pruebas de energía solar.

Reference No.	Specification	Pyranometer category		
		Secondary Standard	First class	Second class
1	Response time: Time for 95 % response	< 15 s	< 30 s	< 60 s
2	Zero off – set a) response to 200 W*m <sup>2</sup> net thermal radiation (ventilated) b) response to 5 K*h <sup>-1</sup> change in ambient temperature.	+ 7 W*m <sup>-2</sup> ± 2 W*m <sup>-2</sup>	+15 W*m <sup>-2</sup> ± 4 W*m <sup>-2</sup>	+ 30 W*m <sup>-2</sup> ± 8 W*m <sup>-2</sup>
3 a	Non – stability: Percentage change in responsivity per year	± 0,8 %	± 1,5 %	± 3 %
3 b	Non – linearity: Percentage deviation from the responsivity at 500 W*m <sup>-2</sup> due to the change in irradiance within 100 W*m <sup>-2</sup> to 1000 W*m <sup>-2</sup> .	± 0,5 %	± 1 %	± 3 %
3 c	Directional response (for beam radiation): The range of errors caused by assuming that the normal incidence – responsivity is valid for all directions when measuring from any direction a beam radiation whose normal incidence irradiance is 1000 W*m <sup>-2</sup> .	± 10 W*m <sup>-2</sup>	± 20 W*m <sup>-2</sup>	± 30 W*m <sup>-2</sup>
3 d	Spectral selectivity: Percentage derivation of the product of spectral absorplance and spectral transmittance from the corresponding mean within 0,35 μm and 1,5 μm.	± 3 %	± 5 %	± 10 %
3 e	Temperature response: Percentage deviation due to change in ambient temperature within an interval of 50 K.	2 %	4 %	8 %
3 f	Tilt response: Percentage deviation from the responsivity at 0° tilt (horizopial) due to change in tilt from 0° to 90° at 1000 W*m <sup>-2</sup> irradiance.	± 5 %	± 2 %	± 5 %

Tabla 1.2 Esquema de clasificación para un piranómetro.

Una vez elegido el método de medición de la Radiación Solar Global, con la utilización de un Piranómetro, es importante determinar la manera de suplir artificialmente los niveles de radiación dentro del invernadero. Para ello se utilizará iluminación artificial con lámparas denominadas "Luz del Día".

Conceptos sobre iluminación artificial en invernaderos se presentan a continuación.

## **1.9 ILUMINACION ARTIFICIAL EN EL INVERNADERO**

Para el diseño de la iluminación dentro del invernadero es necesario tomar en cuenta las consideraciones técnicas siguientes.

### **1.9.1 LUZ Y CRECIMIENTO DE LAS PLANTAS**

Tres procesos que dependen de la luz gobiernan el crecimiento de las plantas:

- Fotosíntesis
- Fotomorfogénesis
- fotoperiodicidad

De estos, la fotosíntesis es la más importante ya que es esencial para su crecimiento. En la fotosíntesis la energía radiante es convertida en energía química la cual es necesaria para la fotosíntesis de los componentes orgánicos que conforman una planta.

La fotomorfogénesis se refiere al efecto formativo de la luz sobre las plantas. Las plantas que crecen exclusivamente bajo luz roja son más débiles y elongadas y tienen hojas pequeñas, lo que aparenta ser el resultado de falta de luz azul. Sin embargo, la cantidad de luz azul necesaria para evitar este crecimiento anormal es tan poca, que aún la contribución de luz natural débil a través del vidrio de un invernadero será normalmente suficiente.

La fotoperiodicidad es el fenómeno por el cual las plantas reaccionan de diferentes maneras a la duración del período de luz diario al cual se hallan expuestas. Algunas plantas florecen solo si la duración del período de luz diario se encuentra debajo de un cierto valor crítico; otras solo florecen si la exposición diaria es más larga que un valor crítico. Las primeras se denominan plantas de día corto, las últimas plantas de día largo. Ejemplos de plantas de día corto son *Kalanchoë* y *Chrysanthemum*. Una planta típica de día largo es *Campanula isophylla*. Las plantas cuyo crecimiento no se ve afectado por la duración del día. Ej. *Cyclamen persicum* y tomate, se denominan plantas neutrales al día.

Algunas plantas responden a pautas aún más complicadas del período de luz diario. Las plantas de día largo/día corto tales como *Callistephus sinensis*, por ejemplo, florecen solo después de una secuencia de días largos seguidos de días cortos. Lo opuesto, un ciclo de día corto/día largo se encuentra en la *Pelargonium grandiflorum* hybrid y frutillas.

### 1.9.2 LUZ ARTIFICIAL EN EL INVERNADERO<sup>1</sup>

En la horticultura hay dos usos generales de la iluminación artificial: fotosíntesis y fotoperiodicidad. En la primera, la luz se emplea para mantener los procesos fotosintéticos necesarios para obtener el crecimiento deseado. En la iluminación para la fotoperiodicidad, la luz se emplea para mantener el fotoperíodo necesario para producir la respuesta de florecimiento deseada. La iluminación fotoperiódica es ideal cuando se cultivan plantas de día corto o largo durante una estación. Muchas plantas, requieren para la fotosíntesis una cantidad de luz que puede ser hasta 100 veces mayor que la requerida para la iluminación fotoperiódica.

---

<sup>1</sup> PHILIPS, Manual de Iluminación, 1997, Philips Argentina, Buenos Aires, pags. 260 – 267.

## **Iluminación Fotosintética**

La iluminación fotosintética se utiliza en el invernadero para completar la luz natural durante períodos de poco sol en los meses de invierno para el crecimiento de cultivos fuera de temporada. Esta iluminación complementaria puede ser mucho menor que la que brinda el sol, siendo el nivel de luz determinado por los requerimientos de cada especie de planta en particular.

### ***Métodos de Iluminación para el caso Fotosintético***

Los métodos de iluminación en uso para mantener la fotosíntesis se puede resumir de la siguiente manera:

1. Períodos continuos de luz después del atardecer o antes del amanecer hasta el número de horas deseado (luz natural + luz artificial).
2. Períodos continuos de luz durante la noche en las horas en las que rige la tarifa nocturna de electricidad (por baja demanda) hasta el número deseado de horas.
3. 1 ó 2, más las horas del día durante las cuales la intensidad de luz natural cae por debajo del valor del umbral determinado.
4. 1 ó 2, +3, y un número de horas flexible después del período de luz natural. Se asigna un número fijo de horas durante las primeras de la mañana más un número de horas determinado después del día. Este número determinado se establece a través del monitoreo y la medición de la dosis diaria.

### ***Sistemas de Iluminación para el caso Fotosintético***

Para obtener un sistema de lámpara/luminaria cuyo costo sea efectivo, adaptado a la configuración del invernadero, y que a la vez brinde los mejores resultados de crecimiento posibles, se deben cumplir ciertos requisitos.

#### ***Características de la lámpara y beneficios derivados:***

- Una eficiencia radiante máxima (mW/W) para limitar la potencia instalada; es decir, el número de luminarias a utilizarse, y así mantener al mínimo los costos de energía.
- Una distribución de energía luminosa “equilibrada” para obtener el máximo crecimiento con un desarrollo formativo normal de la planta, que resulte en tiempos de cultivo más cortos y en un alto porcentaje de plantas de primera calidad.
- Mayor promedio de vida de la lámpara y baja depreciación del flujo luminoso para limitar los costos de recambio de lámparas.

#### ***Características de la luminaria y beneficios derivados:***

- Materiales de alta calidad que sean de larga duración los llamados “colóquelo y olvídense” junto con durabilidad para minimizar el costo anual.
- Sistemas ópticos de alta eficiencia con una distribución de luz en función del invernadero para limitar el número de luminarias, y con esto el costo.

Las lámparas modernas de sodio de alta presión (tales como las SON-T Plus, y las SON-T Agro especialmente creadas para esta aplicación) armadas en luminarias específicamente diseñadas para utilizar en invernaderos (Philips SGR 140 y SGR 200) son lo más avanzado para los sistemas de iluminación fotosintética. (Figura 1.5)



Figura 1.5 Iluminación fotosintética típica en un gran invernadero. Se han utilizado las luminarias SGR 200 con SON-T 400W.

### ***Instalación y Diseño***

La luminaria y el sistema más apropiados para una situación particular dependerán de una serie de factores:

- Tipo de lámpara, nivel de iluminación recomendado, duración, y período del año.
- Uniformidad deseada del nivel de iluminación.
- Distancia entre el cultivo y la altura de montaje de la luminaria.
- Método de cultivo.
- Disposición de iluminación deseada en relación con la construcción del invernadero.

La luminaria SGR 140 está diseñada para alturas de montaje de entre 1.50 m y 2.50 m. Se puede emplear en disposiciones con espaciados asimétricos: hasta 6.40 m transversalmente y aproximadamente 1.00 m longitudinalmente.

### ***Iluminación Fotoperiódica***

Se utiliza mucho para controlar el florecimiento fuera de temporada de ciertas especies de plantas que requieren proporciones específicas de períodos de luz y oscuridad para que éste se produzca. Utilizando esta técnica, se puede provocar el florecimiento cuando hay una demanda particular del mercado. Un nivel de luz de muy baja energía, 50 a 100 lux ( $150 - 300 \text{ mW} / \text{m}^2$ ), según el tipo de planta, y la técnica de cultivo empleada es suficiente.

### ***Métodos de Iluminación para el caso Fotoperiódico***

Los métodos de iluminación en uso se pueden resumir en:

1. Períodos de luz continuos de 4-6 horas después del atardecer o antes del amanecer llamados "prolongación del día".
2. Períodos de luz continuos de 4-6 horas en medio de la noche (de 22:00 a 04:00 horas) llamados "interrupción de la noche".
3. Períodos de luz cíclicos de más de 4-6 horas en medio de la noche (de 22:00 a 04:00 horas) entre 3 y 5 períodos de 10 a 6 minutos cada media hora llamados "iluminación cíclica".
4. Períodos de luz continuos hasta el número de horas requerido utilizando una instalación de iluminación artificial complementaria (sistema fotosintético / fotoperiódico: 2000 – 6000 lux).

## ***Sistemas de Iluminación para el caso Fotoperiódico***

Iluminación incandescente. La iluminación fotoperiódica aun se provee utilizando lámparas incandescentes (reflectoras), siendo el nivel de luz requerido de 50 a 100 lux proporcionado por una lámpara de 100 W o 150 W cada 8 a 10 m<sup>2</sup>, montada a una altura de 1.50 m a 2.00 m sobre el cultivo. A pesar de que este tipo de lámparas han sido empleadas muchos años, en la actualidad se consideran algo pasadas de moda. Comparada con las fuentes de luz modernas y eficientes, la lámpara incandescente requiere demasiada energía para proporcionar la cantidad de luz necesaria para este propósito.

Otras desventajas de las lámparas incandescentes son:

1. su vida relativamente corta (800 – 1000 horas)
2. su extremada sensibilidad al shock térmico (falla de la lámpara en caso de contacto con gotas de agua mientras está funcionando)
3. su fragilidad
4. él echo de que pueden causar una elongación de la planta no deseada debido a su contenido relativamente alto de energía espectral roja

Iluminación Fluorescente. La solución a los problemas mencionados anteriormente se logra al utilizar la lámpara SL\*R “Agro” especialmente desarrollada (Figura 1.6)

La lámpara SL\*R “Agro” es una lámpara fluorescente cuya forma se ajusta de manera ideal a las necesidades de la iluminación en la horticultura. Es una lámpara relativamente compacta cuya composición espectral corresponde a la del tubo fluorescente, así como la vida útil.

La lámpara está diseñada para reemplazar directamente a las lámparas incandescentes en las instalaciones que ya existen, permitiendo así reducir el requerimiento de energía eléctrica de 150 watts a 18 watts por punto de luz.

La posibilidad de rotura causada por las gotas de agua es insignificante debido a la baja temperatura de las paredes.

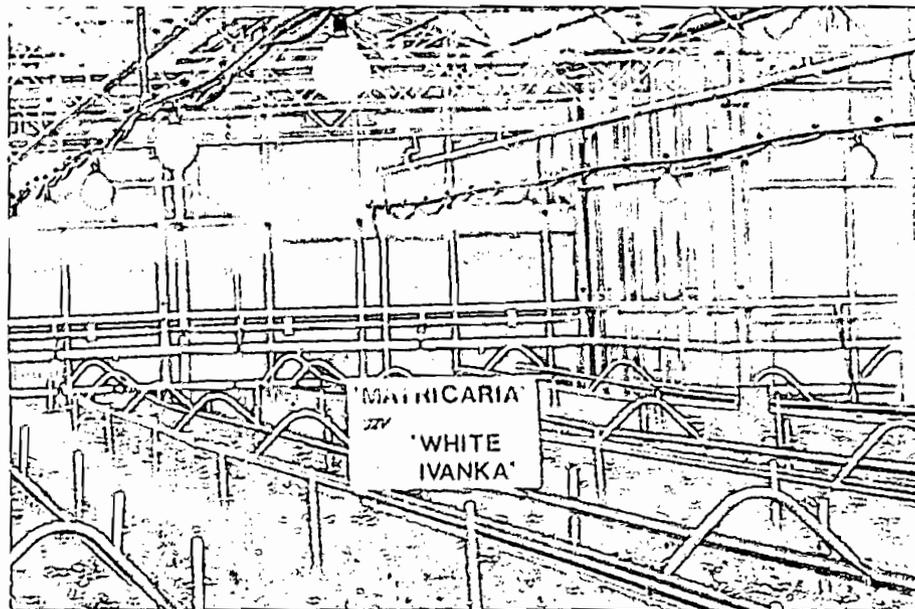


Fig. 1.6 Iluminación fotoperiódica con lámparas SL\*R Agro

### ***Los Beneficios***

Lo dicho anteriormente respecto a la iluminación en invernaderos, los beneficios principales que se obtienen utilizando iluminación artificial en la horticultura son los siguientes:

1. Mejor microclima/menos humedad/mayor resistencia a las enfermedades debido a una mejor calidad total de las plantas y de su microclima.
2. Mejor calidad con respecto a: volumen, forma, color y salud, que resulta en una cosecha y manipulación más fáciles.
3. Mayor producción (hasta el 80 % para algunas especies), y mayor rendimiento por m<sup>2</sup>.

4. Menor tiempo de cultivo y planificación más fácil durante la temporada, igual producción durante el año. Igual trabajo, máximo aprovechamiento de materiales y equipamiento.

Como se pudo apreciar, los métodos de iluminación en invernaderos son aplicables de acuerdo al nivel de desarrollo que el productor requiera en su cultivo, de ahí que para el presente trabajo se aplicarán los dos métodos (fotosintético y fotoperiódico) con el objeto de aprovechar al máximo las características de los dos.

Las lámparas a utilizarse son las llamadas LUZ del DIA. El cristal de la ampolla de este tipo de lámparas es de color azul; la lámpara emite una luz muy similar a la luz de día, ya que el cristal azul actúa de filtro para las radiaciones rojas que dan su color característico a las lámparas normales de incandescencia. En la Tabla 1.3 se presentan las características técnicas de las lámparas azuladas<sup>2</sup>.

Tensión Voltios	Potencia Vatios	Flujo luminoso lúmenes		Rendimiento lúmenes por vatio		Dimensiones milímetros		Tipo de casquillo
		125 a 130 V	220 a 230 V	125 a 130 V	220 a 230 V	Diámetro	Longitud total	
110 a 165	25	220	—	8,8	—	60	104	E27
110 a 230	40	400	315	10	7,9	60	104	E27
110 a 230	60	680	540	11,3	9	60	104	E27
110 a 230	75	900	770	12	10,3	60	104	E27
110 a 230	100	1.300	1.100	13	11	60	104	E27

Tabla 1.3 Características técnicas de las lámparas de incandescencia (ampolla azul).

Para invernaderos convencionales y con la utilización de lámparas mucho más apropiadas para grandes invernaderos (luminaria SGR 140 de Philips), la distribución de las luminarias se las puede realizar de la siguiente manera: alturas de montaje de

<sup>2</sup> RAMIREZ VASQUEZ JOSE, Luminotecnia, CEAC, Barcelona, España, Quinta Edición, 1982

entre 1.50 m y 2.50 m. Se las puede emplear en disposiciones con espaciados asimétricos: hasta 6.40 m transversalmente y aproximadamente 1.00 m longitudinalmente. De esta manera se pueden diseñar distintas instalaciones de iluminación desde 2000 a 6000 lux (que requieren inicialmente unos 5000 a 15000  $\text{mW}/\text{m}^2$  de radiación visible) valores que experimentalmente son bastante aceptables para el desarrollo del cultivo. Las Figuras 1.7 y 1.8 muestran lo mencionado.

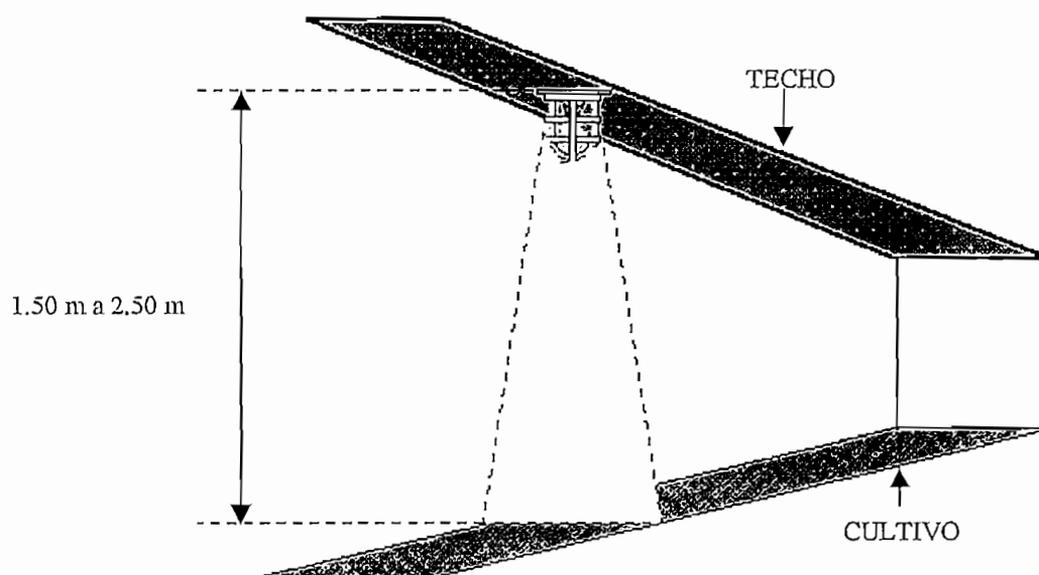


Figura 1.7 altura de montaje de las lámparas

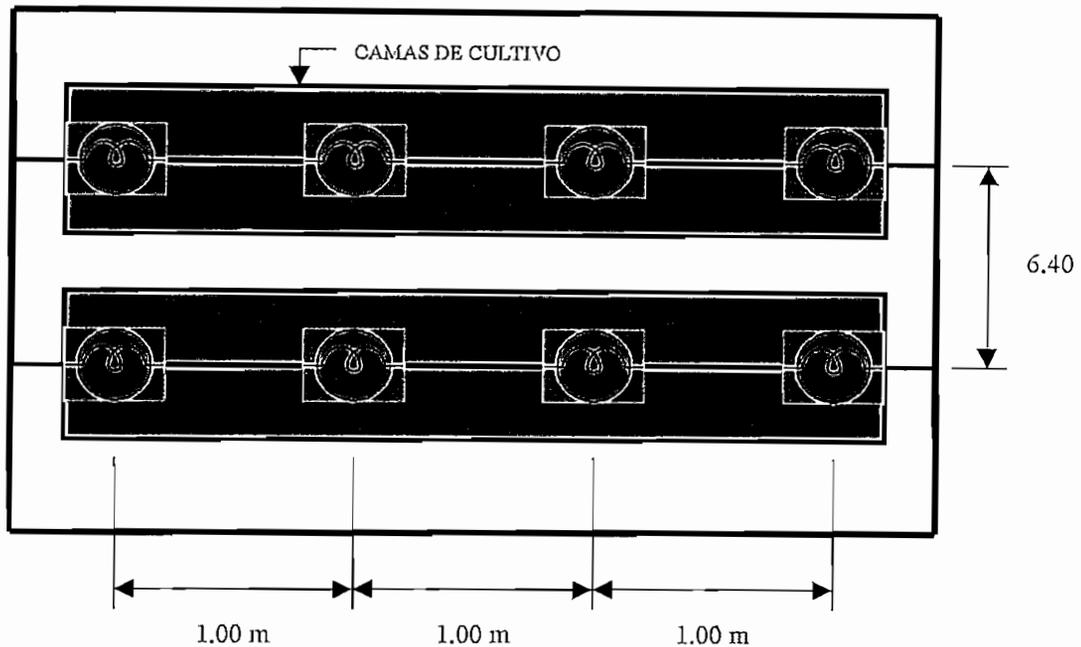


Figura 1.8 Disposiciones transversal y longitudinalmente de las lámparas

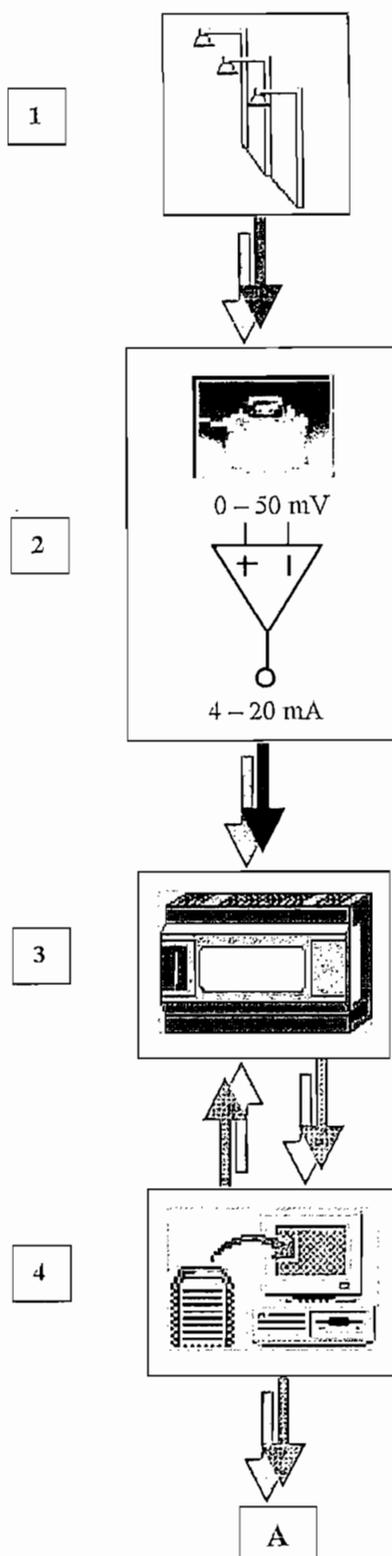
## 1.10 PROPUESTA DE DISEÑO

Como se mencionó anteriormente, para obtener la medida de radiación global, se escogido el piranómetro modelo CM3 Pyranometer de la casa Kipp & Zonen, dicha selección fue aprobada debido a que se trata de un sensor que ofrece una solución económica para la medida de la radiación, su rango de medida varía entre  $0.3 - 2.8 \mu\text{m}$  suficiente para el monitoreo que se requiere para aplicaciones en invernaderos (puesto que su rango se encuentra dentro de la región visible de la radiación). La señal de salida proporcionada es de  $0 - 50 \text{ mV}$  lineal, cumple con las Normas ISO - 9060 de Segunda Clase. Entre otras características técnicas del sensor. Datos técnicos más detallados se encuentran en la hoja de especificaciones que se presenta en el ANEXO A.

El diseño parte desde la implementación del sistema de iluminación artificial en el invernadero, posteriormente es necesario medir los niveles de radiación existentes

en el invernadero (con la utilización del sensor). Es preciso aclarar que la medida de la radiación solar global se la debe tomar tanto con las lámparas encendidas como con ellas apagadas puesto que así se determinará el rango mínimo de histéresis que se requiere para conocer los límites inferior y superior válidos que serán introducidos al sistema. Todo esto se lo debe realizar debido a que si el usuario introduce un rango superior al mínimo, el encendido y apagado de las lámparas va a presentarse con una frecuencia muy alta dependiendo de cómo está variando la radiación solar global. Finalmente con la información obtenida se procede al control de los niveles de iluminación para lo que se utiliza un controlador tipo ON / OFF con lazo de histéresis implementado en un PLC. La visualización del proceso estará a cargo de una HMI, la que además permitirá fijar un límite inferior y superior (es decir el rango de histéresis) tal que si los niveles de radiación solar en el invernadero bajan del límite inferior, se acciona el actuador y las lámparas se encienden, en tanto que si los niveles de radiación suben y sobrepasan el límite superior las lámparas se apagan. Con ello se pretende mantener el nivel de radiación solar en el invernadero dentro de la banda diferencial que es seteada por el usuario.

El diagrama de bloques del mencionado proceso se presenta en la Figura 1.9



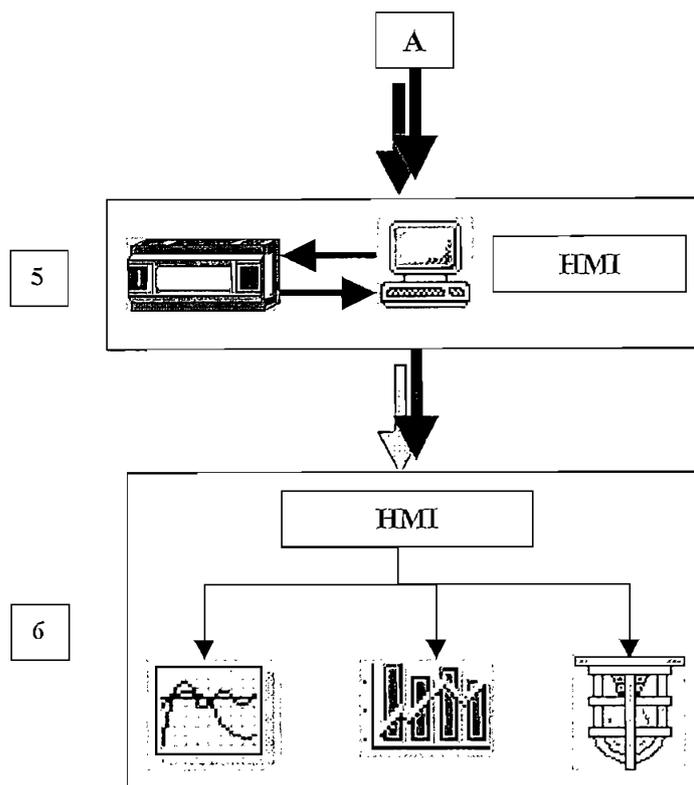


Figura 1.9 Diagrama de bloques del proceso propuesto

La explicación del diagrama de bloques es la siguiente:

**Bloque 1:** representa el diseño de la iluminación artificial en el invernadero.

**Bloque 2:** el sensor entrega una señal que varía de 0 a 50 mV lineal. Se realiza el acondicionamiento respectivo de modo que se obtengan valores normalizados de 4 a 20 mA.

**Bloques 3 y 4:** la señal acondicionada ingresa al PLC, al mismo tiempo se establece una comunicación entre el PLC y el computador. Al comunicarse los dos dispositivos y mediante el empleo de un paquete adecuado para el PLC, se elabora el programa que residirá en la memoria del Controlador. El mencionado programa será el encargado de constatar el estado de la entrada (señal de 4 – 20 mA), realizar el

escalamiento de la señal y verifica que los niveles de radiación se encuentren dentro de los límites establecidos por el usuario.

**Bloque 5:** Con el programa residente en el PLC, es necesario visualizar los datos recabados por el controlador para ello se utiliza la HMI. En este punto también es imprescindible establecer la comunicación entre el PLC y el PC.

**Bloque 6:** desde la HMI: se visualiza el proceso, se fija límites para el control, se obtiene datos, registros, gráficos de la radiación y además se tiene la posibilidad de almacenar los datos recabados por minutos, horas, días, etc. como también exportarlos a una hoja electrónica.

Esta propuesta se la diseña e implementa en los capítulos siguientes.

## **CAPITULO 2**

# **DISEÑO Y CONSTRUCCION DEL HARDWARE**

## CAPITULO 2

### DISEÑO Y CONSTRUCCION DEL HARDWARE

Tomando en cuenta las consideraciones teóricas echas en el capítulo anterior a cerca de la iluminación en invernaderos, el método para medir radiación solar global y la propuesta de diseño con su respectivo diagrama de bloques, el siguiente paso es el diseño y la implementación del hardware que cumpla con los requerimientos solicitados.

Basándose en el diagrama de bloques del proceso (Figura 1.9), las etapas que requieren la implementación de Hardware son tres, aquella que hace referencia al diseño de la iluminación artificial en el invernadero, otra la constituye la medición de los niveles de radiación con la utilización del sensor y, finalmente, para el control de los niveles de iluminación, la utilización de un PLC. Las otras etapas se centran en la implementación del software del sistema que será abordado en el siguiente capítulo.

#### 2.1 DISEÑO DE LA ILUMINACION ARTIFICIAL EN INVERNADEROS

Tomando en cuenta las consideraciones echas en el apartado 1.9.2 referente a la iluminación artificial en invernaderos, las lámparas a utilizarse son las denominadas “Luz del Día”, esto debido a su costo relativamente bajo y además de que su distribución en cuanto a iluminación para una misma área es casi simétrica. Por lo mismo, resultan una buena elección para su utilización en el proyecto. Tomando en cuenta que el invernadero fue construido aplicando medidas muy por debajo de las convencionales, se optó por utilizar cuatro lámparas de luz del día, las mismas que de acuerdo a las características mencionadas anteriormente, satisfacen ampliamente los requerimientos de iluminación dentro del invernadero que se emplean en este proyecto. Dichas luminarias fueron distribuidas simétricamente para el área interior del invernadero. La Figura 2.1 muestra la distribución.

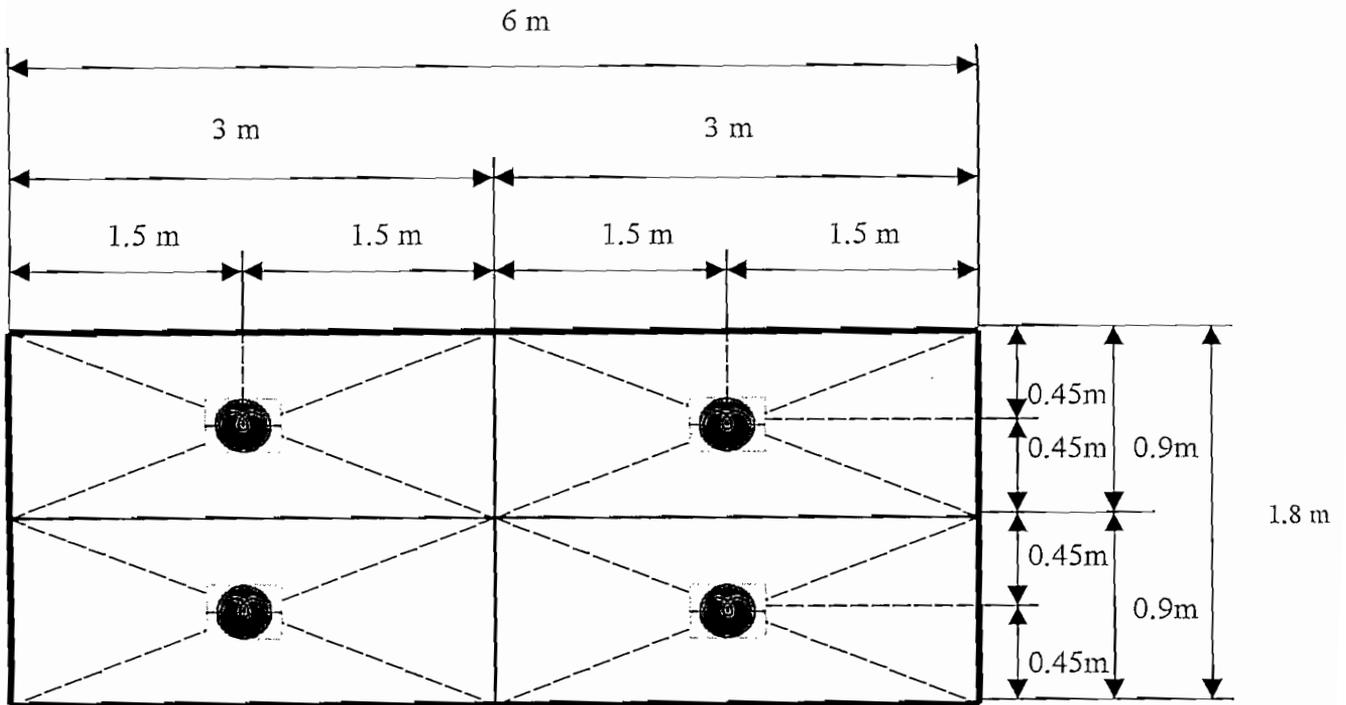


Figura 2.1 Distribución de lámparas en el invernadero.

De los datos técnicos de las lámparas se sabe que cada una de ellas emite una iluminación equivalente a 935 lux. Si se considera que la iluminación de un día de verano en campo libre a las 12 AM es de 100.000 lux se puede ver que las lámparas suplen en pequeña escala el déficit de iluminación natural, pero como su utilización esta abocada a ambiente cerrados y en conjunto, en la práctica se considera un valor bastante aceptable de iluminación artificial.

### 2.1.1 CALCULO DE LOS CONDUCTORES PARA LAS LAMPARAS

La potencia instalada, consumida por las lámparas, es de 400 W. Tomando en cuenta que la alimentación requerida por las luminarias es de 120 V, se puede deducir fácilmente que la corriente total que consumen es de  $400 \text{ W}/120 \text{ V} = 3.33 \text{ A}$ . De acuerdo a normas establecidas para instalaciones eléctricas tal cantidad de corriente puede ser manejada sin ningún problema con la utilización de un conductor tipo sólido, AWG número 12.

### 2.1.2 ALAMBRADO DE LAS LAMPARAS

El alambrado implementado es muy sencillo, puesto que las cuatro lámparas utilizadas se accionan al mismo tiempo con la utilización de un relé, el mismo que se activa desde el sistema de control.

El relé fue escogido tomando en cuenta la cantidad de corriente que consumen las luminarias. Es así que fue elegido aquel cuya capacidad de corriente es de 10 Amperios, 115 V AC y con 24 V DC para excitación de la bobina. El sobredimensionamiento en corriente se debe a que los requerimientos del invernadero pueden ser tales que sea necesario la utilización de otro tipo de luminarias que consuman mayor cantidad de corriente. La Figura 2.2 muestra el circuito correspondiente.

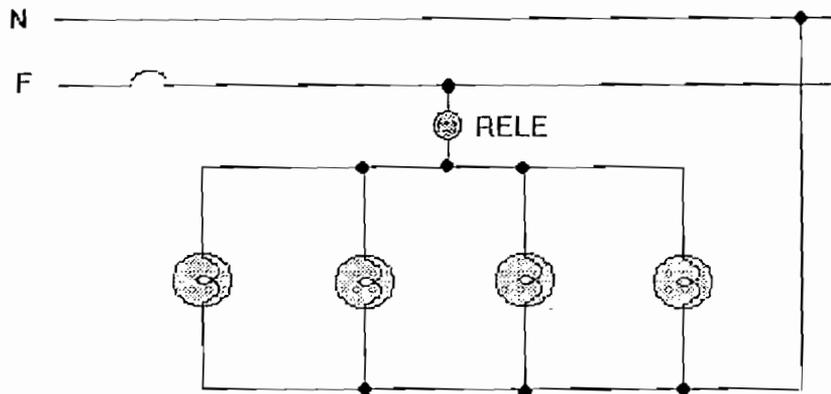


Figura 2.2 Circuito de fuerza para las lámparas.

## 2.2 DISEÑO DEL ACONDICIONADOR DEL SENSOR DE RADIACION

### 2.2.1 DESCRIPCION DEL PROBLEMA

De acuerdo a las especificaciones del sensor de radiación CM3 PYRANOMETER, se tiene una señal de salida que varía entre 0 y 50 mV lineal, la misma que deberá ser acondicionada de modo que se obtengan valores normalizados de 4 a 20 mA (transmisor), es decir:

Cuando  $V_{o \text{ sensor}} = 0V$        $I_o = 4mA$       Radiación = 0 Watt / m<sup>2</sup> = 0 %

$V_{o \text{ sensor}} = 50mV$        $I_o = 20mA$       Radiación = 2000 Watt / m<sup>2</sup> = 100 %

Para cumplir con esto, se propone el circuito de la Figura 2.3

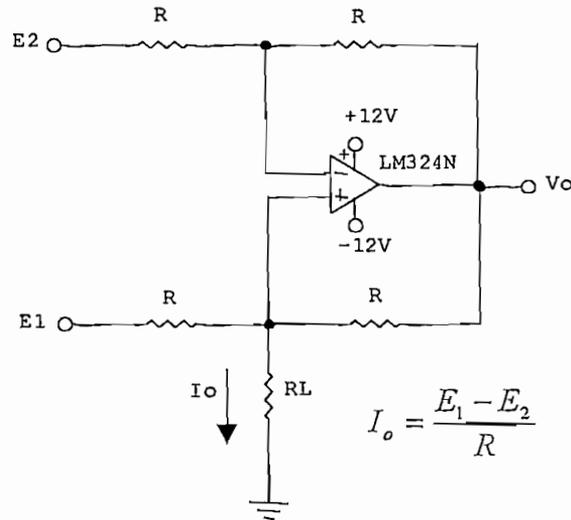


Figura 2.3 Convertidor de voltaje a corriente

## 2.2.2 CONSIDERACIONES DE DISEÑO

La función del circuito es convertir las variaciones del voltaje aplicado en  $E_1$ , tal que a la salida del mismo se obtenga una variación de 4 a 20 mA DC. Para lograr este resultado se aplican las siguientes consideraciones:

1. Tomando en cuenta las características de salida del sensor de radiación es fácil constatar que no se trata de un transmisor, debido a esto el diseño debe estar dirigido a conseguir que la señal de salida varíe de 4 a 20 mA.
2. Como primer paso es necesario amplificar la señal del sensor tal que su rango dinámico varíe entre 0 y 10 V.
3. A partir del voltaje de 0 a 10 V diseñar el circuito de la Figura 2.4 tal que al variar  $E_1$  de 0V a un voltaje X,  $I_L$  varíe de 4 a 20 mA, respectivamente. El voltaje X deberá ser calculado tomando en cuenta las características de la corriente de salida del circuito de la Figura. 2.3.
4.  $E_2$  es un voltaje fijo.

5. Verificar que voltaje de salida no supere al de alimentación de los operacionales para evitar saturación en los mismos.
6. Ubicar acopladores de impedancia, para evitar caídas de voltaje o corriente en el circuito.

### 2.2.3 IMPLEMENTACION DEL CIRCUITO

Con el objetivo de obtener valores de voltaje en la salida del sensor más manejables se procede a amplificar la señal del sensor para que varíe de 0V a 10 V. Con este objetivo se diseña el circuito mostrado en la Figura 2.4. Luego de esta etapa se tiene que acondicionar la señal de 0V – 10V para que varíe de 0V a XV (voltaje  $E_1$ ) con el circuito de la Figura 2.5.

- a) Acondicionamiento de:  $0V \rightarrow 0V$   
 $50mV \rightarrow 10V$

El circuito es el siguiente:

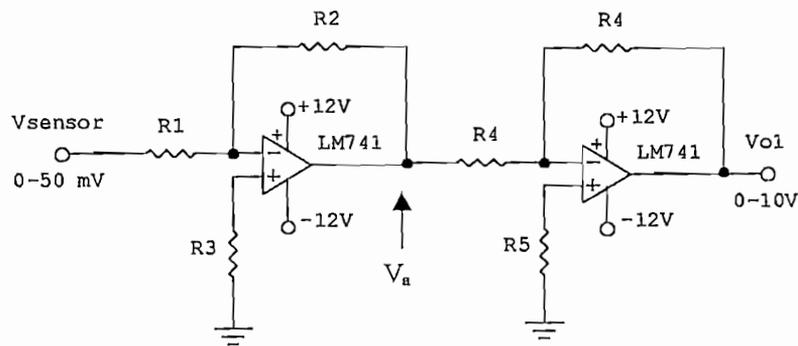


Figura 2.4 Acondicionamiento de 0 – 10V

El voltaje de salida  $V_a$  está relacionado con el voltaje de entrada por la siguiente expresión:

$$V_a = m * V_{sen.sor}$$

aplicando las condiciones de diseño se tiene:

$$0 = 0 * m$$

$$10 = 0.05 * m$$

despejando el valor de m se tiene:

$$m = 200$$

Finalmente:

$$V_a = 200 * V_{\text{sen sor}} \rightarrow V_a = \frac{R_2}{R_1} * V_{\text{sen sor}}$$

Como se trata de un amplificador inversor  $V_a$  tendrá signo contrario al del sensor, por lo cual se necesita otra etapa inversora de ganancia unitaria, para obtener a la salida final  $V_{01}$  un voltaje positivo entre 0 y 10V.

Reemplazando los valores se tiene:

$$\frac{R_2}{R_1} = 200$$

Si  $R_2 = 220 \text{ K}\Omega \rightarrow R_1 = 1.1 \text{ K}\Omega$

Sea  $R_3 = R_2 // R_1$

Sea  $R_4 = 1 \text{ K}\Omega$

Sea  $R_5 = R_4 / 2$

**b) Acondicionamiento de: 0V → 0V**

**10V → XV**

Tal como se indicó, el objetivo del circuito de la Figura 2.5 es convertir el rango dinámico desde 0 – 10V a 0V – XV. Como primer paso, es necesario conocer el valor del voltaje X, para lo cual se aplicará la siguiente expresión, deducida de la Figura 2.3:

$$I_L = \frac{E_1 - E_2}{R}$$

Si se aplican las condiciones tanto para  $E_1$  ( $0 - X$  V) y para  $I_L$  ( $4 - 20$  mA) se tiene:

$$4 \times 10^{-3} * R = 0 - E_2$$

$$20 \times 10^{-3} * R = X - E_2$$

Si  $R = 330 \Omega$  entonces despejando se obtiene  $E_2 = -1.32$  V

Con los valores calculados anteriormente es fácil obtener el voltaje X el mismo que es igual a  $X = 5.28$  V.

### Acondicionamiento para que $E_1$ varíe de 0 a 5.28 V

El circuito propuesto es el siguiente:

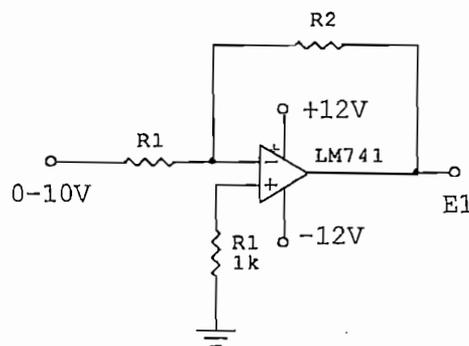


Figura 2.5 Acondicionamiento para 0 – 5.28 V

Aplicando la función de transferencia del circuito se tiene:

$$5.28 = -\frac{R_2}{R_1} * 10 \quad \rightarrow \quad \frac{R_2}{R_1} = 0.528$$

Si  $R_2 = 5.3 \text{ K}\Omega \rightarrow R_1 = 10 \text{ K}\Omega$ .

Pero como se trata de un amplificador inversor se tiene a la salida una variación de 0 a  $-5.28\text{ V}$  por lo cual es necesario invertir la señal de salida con otro amplificador inversor de ganancia uno.

El circuito total del transmisor se muestra en la Figura 2.6.

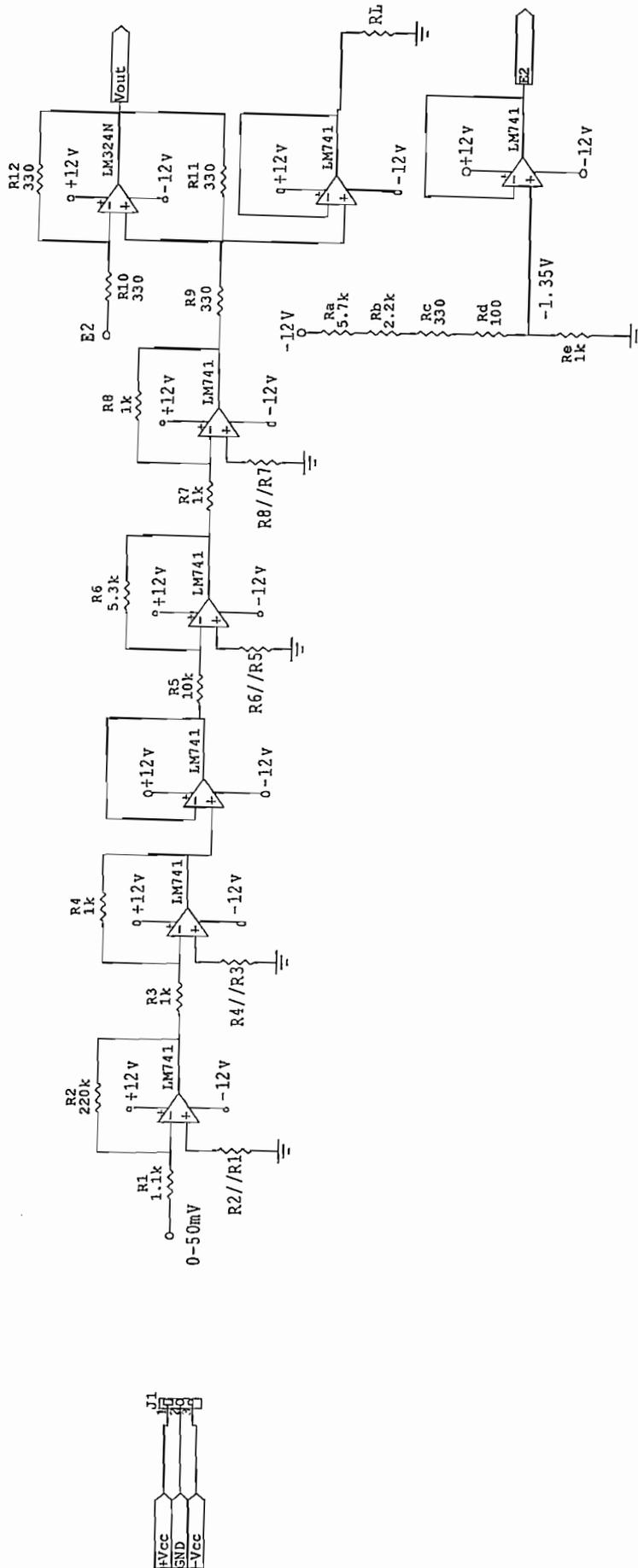


Fig. 2.6 Transmisor

al PC para ser visualizada con la utilización de una HMI. Estas tareas son las requeridas como parte fundamental del proyecto.

4. El PLC debe proporcionar, para el caso de este proyecto, al menos una salida analógica o de relé (0 a 24V).
5. La alimentación general deberá ser ya sea para 110V o 220V de voltaje alterno.
6. Deberá manejar una corriente interna mínima de 50 mA de continua sin que con ello cause daños a su estructura.
7. Otro aspecto fundamental corresponde a la comunicación entre el PLC y un PC, la misma que deberá realizarse de manera fácil y rápida.

Tomando en cuenta éstas características básicas se optó por elegir el PLC S7 200 SIMATIC con la CPU 224 AC/DC/RELE, el mismo que además de cumplir con lo mencionado anteriormente, posee muchas características que lo convierten en un sistema muy robusto para la aplicación en el presente proyecto. Datos técnicos más específicos se presentan en el ANEXO B.

La CPU 224 posee 14 entradas digitales, 10 salidas digitales integradas, un número máximo de módulos de ampliación de 8, los mismos que brindan hasta cuatro E/S analógicas, por lo cual se obtienen un máximo de 32 E/S analógicas, maneja una corriente máxima para alimentación de sensores de 280 mA y de 600mA de corriente límite. La Figura 2.7 muestra la CPU 224.

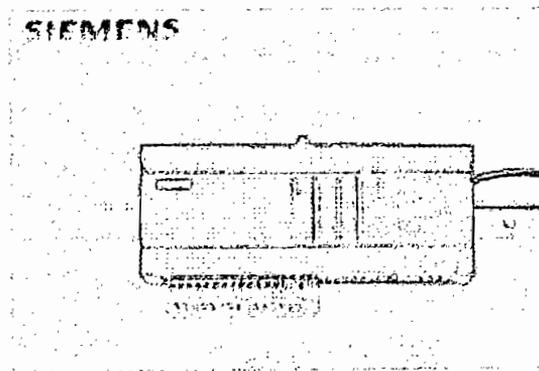


Figura 2.7 CPU 224 SIMATIC S7 200

La Figura 2.8 muestra las principales partes de la CPU S7 200

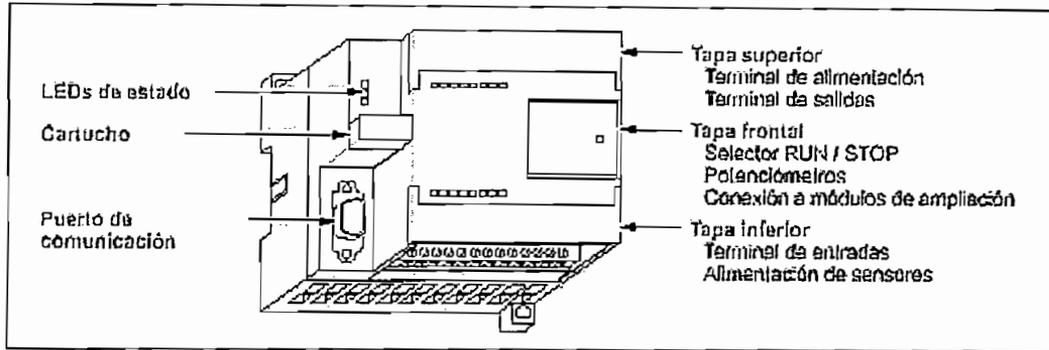


Figura 2.8 CPU S7 200

Como se mencionó anteriormente de la gama S7 200 se utilizará la CPU 224, por lo cual es importante conocer e identificar los terminales de conexión. La Figura 2. 9 muestra los terminales de la mencionada CPU.

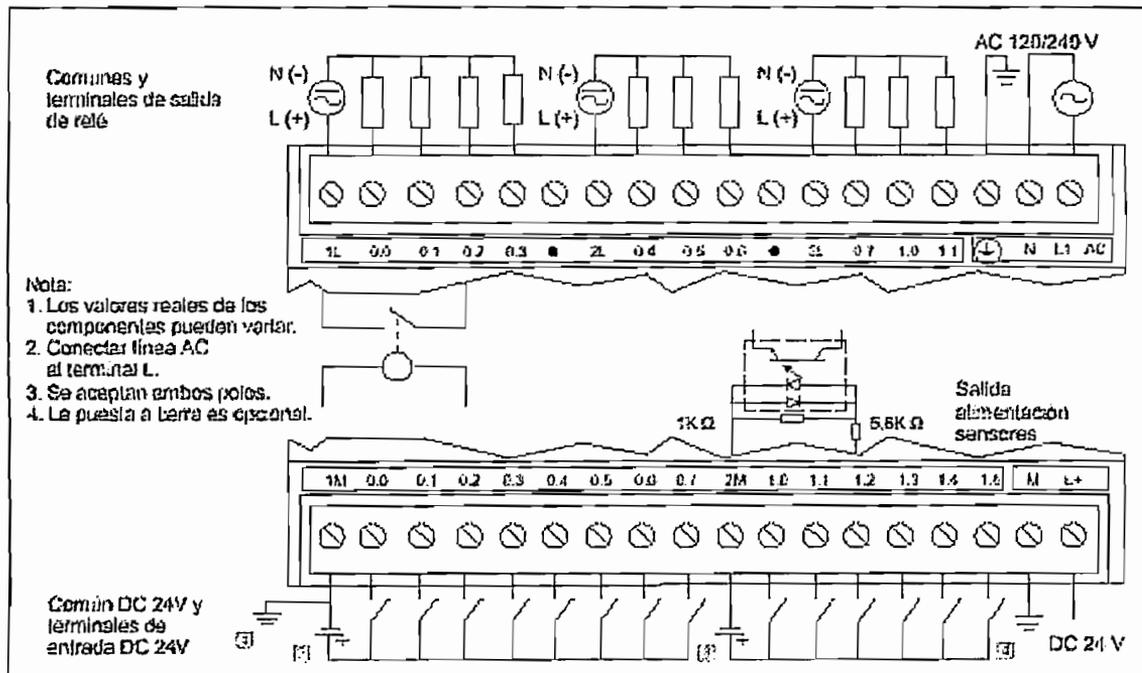


Figura 2.9 Identificación de los terminales de conexión para la CPU 224 AC/DC/Relé

Puesto que la CPU 224 no posee entradas analógicas, es necesario utilizar un módulo de ampliación, el mismo que permita manejar señales tanto de voltaje como de corriente, con el objetivo de adquirir los valores proporcionados por el sensor para realizar las distintas tareas propuestas en el presente proyecto.

El sensor a utilizarse (CM3 PYRANOMETER) entrega una señal de voltaje, la misma que acondicionada previamente se transformará en señal de corriente, y ésta señal será la que maneje el PLC. Tomando en cuenta éstos requerimientos, se optó por utilizar el módulo de ampliación para entradas analógicas EM231, el mismo que maneja tanto señales de corriente como de voltaje. Datos técnicos específicos se muestran en el ANEXO D.

Las características básicas del módulo se presentan a continuación:

- ❖ Impedancia de entrada:  $\geq 10 \text{ M}\Omega$ .
- ❖ Tensión de entrada máxima: 30V DC.
- ❖ Corriente de entrada máxima: 32 mA.
- ❖ Convertidor A/D de 12 bits.
- ❖ Entrada Diferencial.
- ❖ margen de entradas: 0 a 10 V y 0 a 5 V unipolar  
 $\pm 5 \text{ V}$ ;  $\pm 2.5 \text{ V}$  bipolar.

La Figura 2.10 muestra el módulo EM 231.

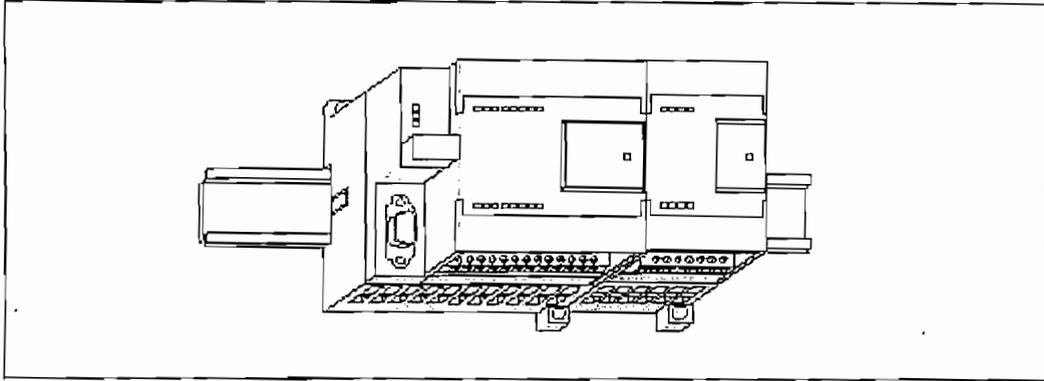


Figura 2.10 CPU con módulo de ampliación para entradas analógicas EM 231

### 2.3.1 CONFIGURACION DEL MODULO EM 231

El módulo cuenta con cuatro entradas analógicas, las mismas que dependiendo de la configuración que se dé a un dip-switch pueden ser de voltaje o corriente con sus variaciones. La identificación de los terminales se presenta en la Figura 2.11 y sus especificaciones técnicas en el ANEXO E.

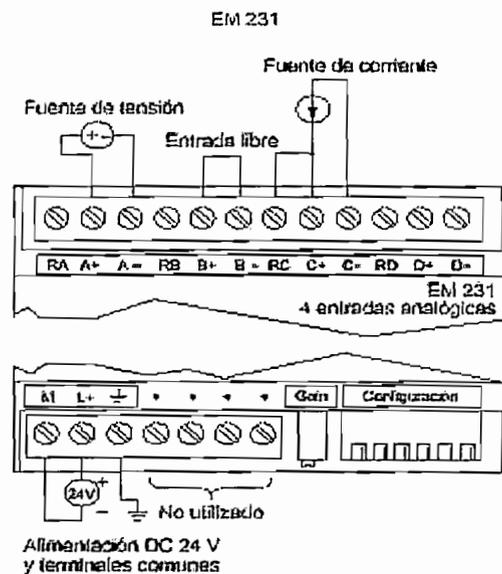


Figura 2.11 Identificación de terminales del módulo EM 231.

## CALIBRACIÓN DE ENTRADAS

Los ajustes de calibración afectan a la fase de amplificación de la instrumentación que sigue al multiplexor analógico que forma parte del hardware del módulo. Por consiguiente, la calibración afecta a todos los canales de entrada del usuario. Cualquier variación de los valores de los circuitos de entrada que preceden al multiplexor analógico provocará diferencias mínimas entre los valores de los distintos canales que estén conectados a la misma señal, incluso después de la calibración.

Por lo mismo, es conveniente calibrar la entrada, y para esto se debe seguir los pasos siguientes:

1. Desconectar la alimentación del módulo. Seleccionar el margen de entrada deseado, es decir voltaje o corriente.
2. Conectar la alimentación de la CPU y del módulo. Esperar unos 15 minutos para que el módulo pueda estabilizarse.
3. Mediante una fuente de tensión o de corriente, aplicar a una de las entradas una señal de valor cero.
4. Leer el valor que la CPU ha recibido del correspondiente canal de entrada.
5. Con el potenciómetro OFFSET, seleccionar el valor cero u otro valor digital.
6. Aplicar una señal de margen máximo a una entrada. Leer el valor que ha recibido la CPU. Para la aplicación se tratará con una señal máxima de 20 mA.
7. Con el potenciómetro GAIN, seleccionar el valor 32767.
8. En caso necesario, volver a calibrar el desplazamiento (OFFSET) y la ganancia (GAIN).

## CALIBRACIÓN Y CONFIGURACIÓN DEL MÓDULO DE AMPLIACIÓN EM 231

Como muestra la Figura 2.12, el potenciómetro de calibración y los interruptores DIP de configuración están ubicados a la derecha del bloque de terminales inferior del módulo.

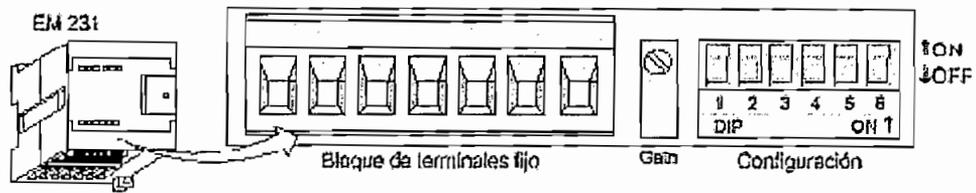


Figura 2.12 Potenciómetros de calibración e interruptores DIP de configuración del módulo EM 231.

### CONFIGURACIÓN DEL MÓDULO DE AMPLIACIÓN EM 231

La Tabla 2.1 muestra cómo configurar el módulo EM 231 utilizando los interruptores DIP. El margen de las entradas analógicas se selecciona con los interruptores 1, 2 y 3. Todas las entradas analógicas se activan con un mismo margen. En la tabla, ON está cerrado y OFF está abierto.

Unipolar			Margen de tensión	Resolución
Interruptor 1	Interruptor 2	Interruptor 3		
ON	OFF	ON	0 a 10 V	2,5 mV
	ON	OFF	0 a 5 V	1,25 mV
	ON	ON	0 a 20 mA	5 $\mu$ A
Bipolar			Margen de tensión	Resolución
Interruptor 1	Interruptor 2	Interruptor 3		
OFF	OFF	ON	$\pm$ 5 V	2,5 mV
	ON	OFF	$\pm$ 2,5 V	1,25 mV

Tabla 2.1 Tabla de interruptores de configuración del EM 231 para seleccionar el margen de las entradas analógicas

Como se puede apreciar, para obtener un margen de corriente de 0 – 20 mA, es necesario que los interruptores 1 y 2 se encuentren en la posición ON, y que el interruptor 3 se encuentre en la posición OFF.

En cuanto se refiere a los datos que maneja el módulo se puede afirmar que éste trabaja con una palabra de 12 bits, dicha configuración se presenta en la Figura 2.13.

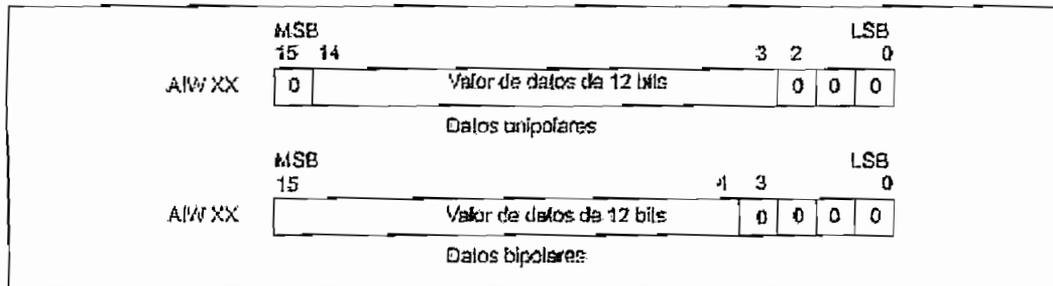


Figura 2.13 Formato de palabra de datos de entrada del módulo EM 231.

Los 12 bits del valor de conversión analógica/digital (ADC) se justifican a la izquierda en el formato de palabra de datos. El MSB (bit más significativo) indica el signo, en tanto que cero indica un valor positivo de la palabra de datos. En formato unipolar, los tres ceros a la derecha modifican el valor de la palabra de datos en incrementos de 8 por cada cambio del valor ADC. En formato bipolar, los cuatro ceros a la derecha modifican el valor de la palabra de datos en incrementos de 16 por cada cambio del valor ADC.

El formato para designar las entradas viene dado por las siglas AIW, seguido del número de entrada correspondiente, es decir: 0, 2, 4, ó 6 que corresponden a las entradas 1, 2, 3, ó 4 respectivamente, así:

AIW0 → ENTRADA UNO  
AIW2 → ENTRADA DOS  
AIW4 → ENTRADA TRES  
AIW6 → ENTRADA CUATRO

Para el caso de las salidas de relé su designación están dadas por las sigla Q0, seguido del número de salida correspondiente, así:

Q0.0 → SALIDA UNO  
Q0.1 → SALIDA DOS  
Q0.2 → SALIDA TRES

El número máximo de salidas es de diez.

### **2.3.2 MEMORIA DE LA CPU**

La CPU maneja áreas de memoria especiales para que los datos se puedan procesar en forma más rápida y eficiente. Como en todo procesador se tienen direccionamientos directos e indirectos, para el presente trabajo se utilizarán los direccionamientos directos.

#### **Direccionamiento directo de las áreas de memoria de la CPU**

La capacidad de memoria para el programa del usuario en la CPU 224 esta en el orden de los 64 KB, si se considera que el programa que va a ser cargado en la memoria de la CPU tiene un tamaño de 3 KB se puede concluir que la CPU seleccionada cubre el requerimiento de espacio de memoria sin ningún inconveniente.

La CPU S7-200 almacena información en diferentes áreas de la memoria que tienen direcciones unívocas. Es posible indicar explícitamente la dirección a la que se desea acceder. El programa puede acceder entonces directamente a la información.

### Acceder a los datos a través de direcciones

Para acceder a un bit en un área de memoria es preciso indicar la dirección del mismo, la cual está formada por un identificador de área, la dirección del byte y el número del bit. La Figura 2.14 muestra un ejemplo de direccionamiento de un bit (denominado también direccionamiento "byte.bit"). En el ejemplo, el área de memoria y la dirección del byte (I=entrada y 3=byte 3) van seguidas de un punto decimal (".") que separa la dirección del bit (bit 4).

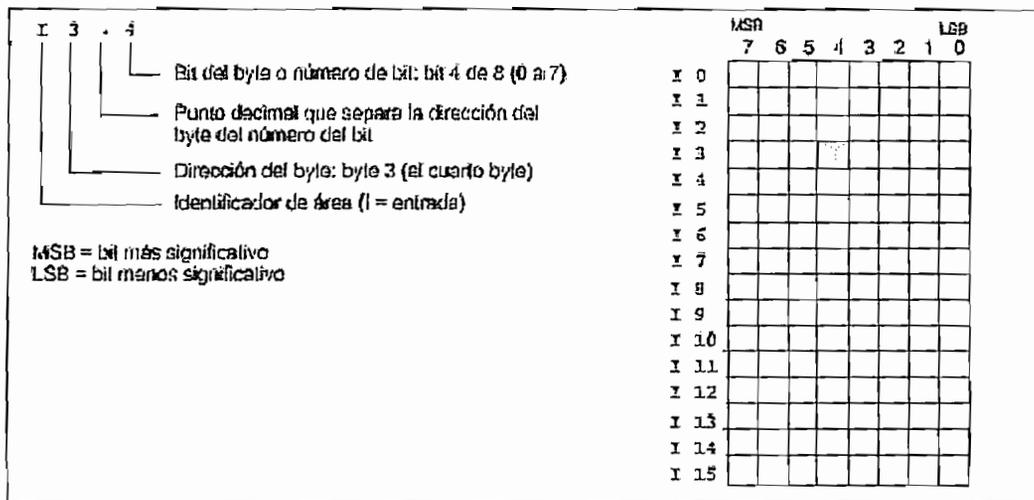


Figura 2.14 Acceder a un bit de datos en la memoria de la CPU.

Utilizando el formato de dirección de byte se puede acceder a los datos de numerosas áreas de la memoria de la CPU (V, I, Q, M, S y SM) en formato de bytes, palabras o palabras dobles. La dirección de un byte, de una palabra o de una palabra doble de datos en la memoria de la CPU se indica de forma similar a la dirección de un bit. Esta última está formada por un identificador de área, el tamaño de los datos y

la dirección inicial del valor del byte, de la palabra o de la palabra doble, como muestra la Figura 2.15. Para acceder a los datos comprendidos en otras áreas de la memoria de la CPU (p.ej. T, C, HC y acumuladores) es preciso utilizar una dirección compuesta por un identificador de área y un número de elemento.

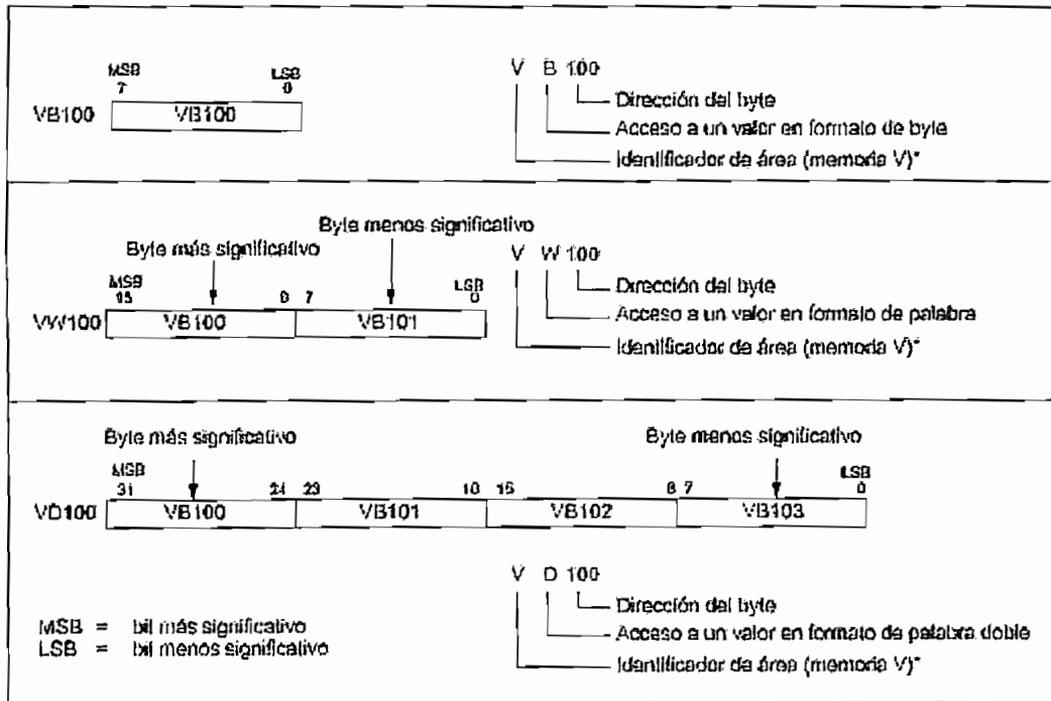


Figura 2.15 Acceso a la misma dirección en formato de byte, palabra y doble palabra.

## Representación numérica

La Tabla 2.2 muestra el margen de números enteros representables en diversos tamaños de datos. Los números reales (en coma flotante) se representan como números de precisión simple de 32 bits, siendo su formato:  $+1,175495E-38$  a  $+3,402823E+38$  (positivo), y  $-1,175495 \cdot 10^{-38}$  a  $-3,402823 \cdot 10^{+38}$  (negativo). A los valores de números reales se accede en formato de palabra doble.

Tamaño de los datos	Margen de enteros sin signo		Margen de enteros con signo	
	Decimal	Hexadecimal	Decimal	Hexadecimal
<b>B (byte):</b> valor de 8 bits	0 a 255	0 a FF	-128 a 127	80 a 7F
<b>W (palabra):</b> valor de 16 bits	0 a 65.535	0 a FFFF	-32.768 a 32.767	8000 a 7FFF
<b>D (palabra doble):</b> valor de 32 bits	0 a 4.294.967.295	0 a FFFF FFFF	-2.147.483.648 a 2.147.483.647	8000 0000 a 7FFF FFFF

Tabla 2.2 Indicadores de tamaño(y sus respectivos márgenes de números enteros).

Con esta explicación se está en capacidad de manejar el PLC, en su parte física y además desarrollar el software necesario para el control respectivo, el mismo que será presentado en el siguiente capítulo. A continuación se presenta el cableado del PLC con los demás elementos físicos que componen el proyecto, así como se detallan las protecciones del sistema.

### Alambrado del PLC

Tomando en cuenta las opciones de operación requeridas, se ha implementado el circuito de fuerza y control para la aplicación propuesta. El circuito de control lo integra el PLC y las órdenes las recibe mediante el ingreso de datos vía enlace por computador. La designación para entradas y salidas es muy importante puesto que permite identificar en el diagrama ladder a un determinado elemento.

La alimentación proviene de una red monofásica con tierra, la misma que se utiliza tanto para energizar las lámparas, la fuente para el sensor, el actuador (que para el

caso se trata de un relé), y además para el PLC. En caso de cortocircuitos se cuenta con breakers al ingreso del sistema para su protección.

La entrada analógica está acondicionada para trabajar dentro del rango de 4 a 20 mA correspondientes a las mediciones de radiación de 0 a 2000 W / m<sup>2</sup>. El diagrama de conexiones es el siguiente (Figura 2.16).

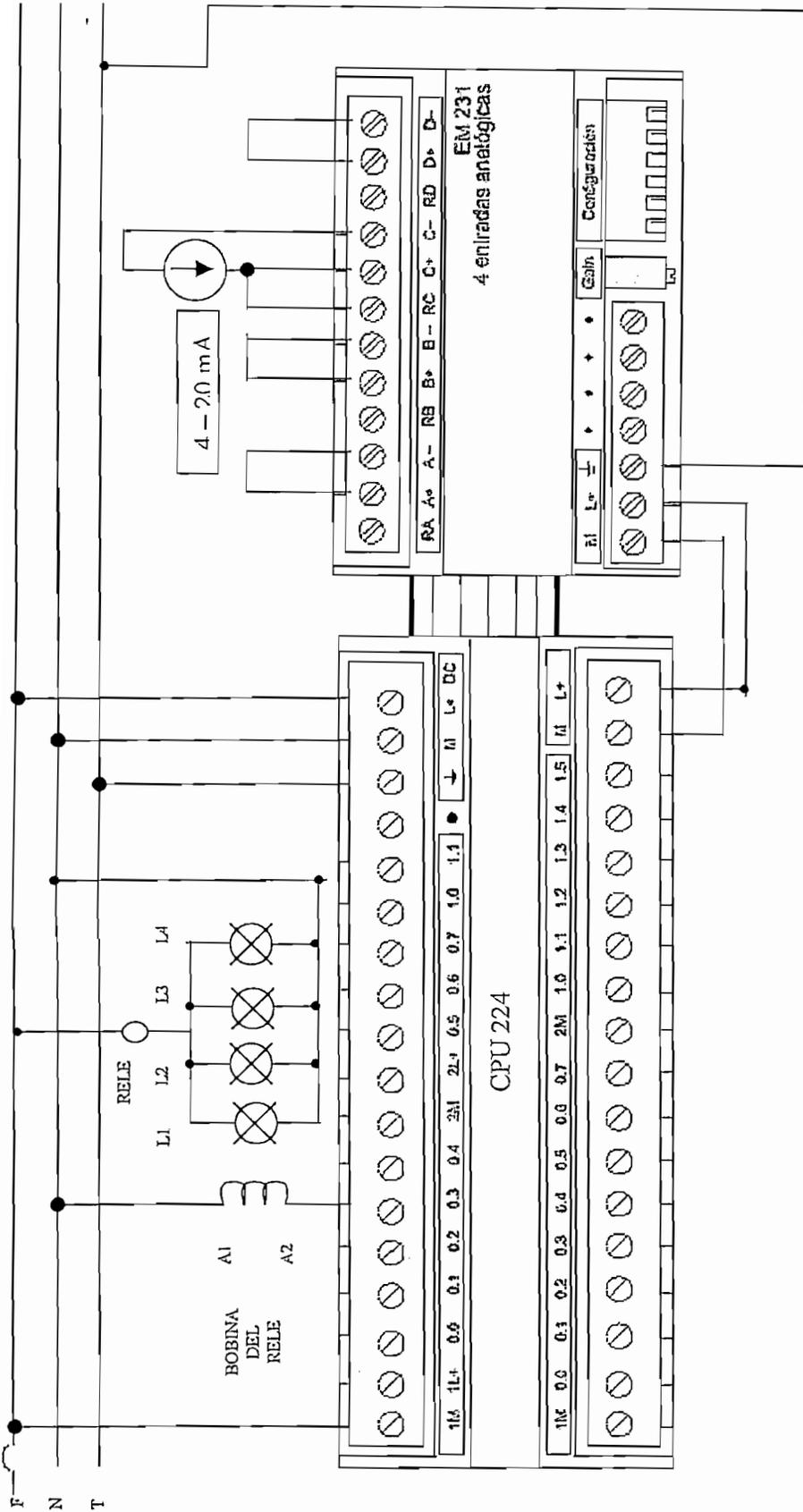


Fig.2.16 Diagrama de conexiones

## 2.4 PROTECCIONES

**Protección General.** Para proteger la instalación contra cortocircuitos o fallas de alimentación general se utilizó un breaker de un polo. Su dimensionamiento fue hecho tomando en cuenta la carga instalada tanto de las lámparas como del PLC. Así, si se toma en cuenta los 3.33 Amperios de las luminarias (400 W/120 V), la corriente que consume el PLC, cuyo valor es de 200 mA, además del módulo de ampliación, que es de 60 mA, se tiene un total de 3.60 A.

Tomando en consideración la corriente total del sistema se optó por utilizar un breaker de 5 A para protección general. En caso de cortocircuitos la corriente se eleva muy por encima del valor nominal ya sea de dos, tres, cuatro veces mayor; por lo mismo el breaker elegido cumplirá su función satisfactoriamente.

Por recomendación del fabricante del PLC se utilizó una acometida en la cual se tenga una instalación a tierra, la misma que deberá ser utilizada para todo el sistema. Con esto se ha protegido al PLC contra variaciones que puedan deteriorar o dañar al mismo y además contra lecturas erróneas que puedan ser interpretadas por las señales de entradas de los distintos sensores.

**Cable de Comunicación.** El cable PC/PPI, de diseño especial por la casa fabricante, permite dar seguridad al enlace entre el computador y el PLC.

Una vez completada la construcción del hardware para el control de iluminación y monitoreo de radiación solar global se procede a diseñar e implementar el software del sistema, tanto para la programación del PLC como para el HMI. El siguiente capítulo estará orientado a realizar exhaustamente lo mencionado.

## **CAPITULO 3**

### **DESARROLLO DEL SOFTWARE**

## CAPITULO 3

### DESARROLLO DEL SOFTWARE

De acuerdo a las características del sistema de iluminación ya descritas, se desarrollará el software de control. Para este desarrollo se debe tomar en consideración que el sistema cuenta con cuatro lámparas, del tipo "luz del día", las mismas que deberán accionarse cuando el nivel de radiación dentro del invernadero sea menor al límite inferior que el usuario determine y apagarse cuando el nivel de radiación solar suba por encima del límite superior, es decir que el nivel de radiación solar global dentro del invernadero se encuentre siempre dentro de la banda diferencial introducida por el usuario, al mismo tiempo, se adquirirán datos de radiación solar global tanto en Wattios / m<sup>2</sup> como en porcentaje. El tiempo de muestreo está definido para un período de 20 segundos, escogidos tomando como base la experimentación de laboratorios a nivel mundial. Siguiendo prácticas industriales ampliamente difundidas, el software de control deberá permitir la selección del tipo de usuario que va a vigilar el proceso. Una consideración global que también se ha tomado en cuenta es que los componentes de la planta serán comandados mediante un programa almacenado en un PLC, en tanto que el sistema de interacción con el operador estará a cargo de una interfaz gráfica "hombre – máquina" (HMI), cuya herramienta de desarrollo elegida fue INTOUCH, el mismo que es específicamente apropiado para el ambiente industrial. A continuación se detalla la relación de las distintas partes.

#### 3.1 DIAGRAMA DE BLOQUES

La Figura 3.1 es un diagrama de bloques de un sistema de control industrial que consiste en un controlador automático, un actuador, una planta y un sensor (elemento de medición). Todos éstos elementos constituyen nuestro sistema, y se relacionan de la siguiente manera:

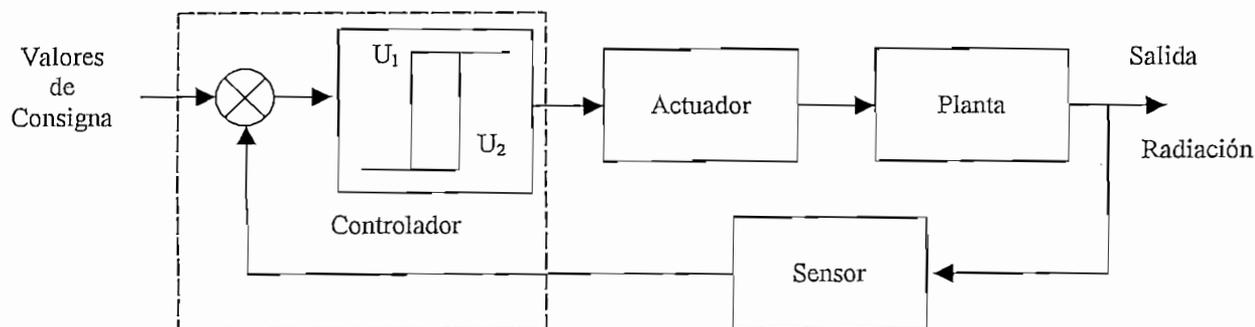


Figura 3.1 Diagrama de bloques

*Actuador.* Es el dispositivo de potencia que produce un cambio en la planta de acuerdo con la señal de control. En el presente caso lo constituye un relé, el mismo que acciona o no a las lámparas tomando en cuenta los valores de consigna de radiación.

*Planta.* Está conformada por el invernadero, en cuyo interior se controlan los niveles de iluminación con la utilización de lámparas, y de acuerdo a la radiación solar existente en el mismo.

*Salida.* Es la variable controlada y corresponde a la radiación solar global del invernadero.

*Sensor.* O elemento de medición, es el dispositivo que sensa los niveles de radiación solar en el invernadero. Este elemento está en la trayectoria de realimentación del sistema en lazo cerrado. El valor de consigna del controlador debe convertirse en una entrada de referencia con las mismas unidades que la señal de realimentación del sensor o del elemento de medición.

*Valores de consigna.* Lo constituyen el límite inferior y superior de radiación solar, es decir la banda diferencial del control ON / OFF. El usuario es quien ingresa los valores por medio del PC.

*Controlador.* Es el bloque donde se ejecuta la acción de control y la lleva a cabo mediante la comparación entre los valores de consigna y el valor de la medida del sensor. El controlador utilizado para el efecto es el denominado "ON / OFF" o de dos posiciones con una banda diferencial, debido a que la acción de control no requiere mayor complejidad. Si el control se lo realiza en lazo abierto, el controlador recibe las órdenes del operador y las ejecuta comandando los elementos de manera independiente. Las ordenes de operación son recibidas desde la interfaz virtual (HMI)<sup>1</sup>.

### 3.2 DESCRIPCIÓN DEL ALGORITMO DE CONTROL

Para las acciones de control se mencionó que ya se seleccionó el PLC S7 200 SIMATIC, con la CPU 224 y con un módulo de ampliación para entradas analógicas EM 231. El proceso implementado se detalla a continuación:

La señal que proviene del sensor es acondicionada de tal manera que a la entrada del PLC se tenga una variación de corriente (4 a 20 mA). La entrada analógica seleccionada tiene la designación AIW4 que corresponde a los terminales C+, C- y RC, la forma de interconexión se presentó en el capítulo anterior.

El PLC será el encargado de realizar un escalamiento de la señal de entrada con el objetivo de presentar en el PC datos de radiación que varíen de 0 a 2000 Wattios / m<sup>2</sup> o de 0 a 100%.

---

<sup>1</sup> REMACHE JUAN CARLOS. Control de Temperatura de un Calentador de Líquidos usando Intouch y un PLC, Proyecto de Titulación, EPN, Escuela de Ingeniería en Electrónica y Control, Quito, Febrero 2002, Pág. 78, 79

El proceso arranca cuando el usuario introduce variables al PLC, como: los valores de consigna que no son más que el límite inferior y superior de radiación solar que deben estar presentes dentro del invernadero y sobre los cuales estará basado el control de iluminación. Los valores de consigna pueden ser introducidos ya sea en Wattios / m<sup>2</sup> (0 a 2000) ó en porcentaje (0 a 100 %), la elección estará a cargo del usuario. Una vez que se han introducido las mencionadas variables, el sistema automáticamente registra gráficos y salva datos de radiación en la PC.

Es necesario realizar mediciones de radiación previamente cuando el sistema se encuentra sin iluminación y luego con iluminación, ésto con el objetivo de conocer que cantidad de radiación entregan las lámparas. La información obtenida servirá para conocer el rango mínimo de histéresis puesto que si el usuario introduce un rango inferior al mencionado cada vez que la radiación existente dentro del invernadero salga de sus límites se encenderán o apagarán las luminarias con una frecuencia muy alta. Todo esto se explica debido a que las luminarias entregan una cantidad constante de radiación.

Un dato importante que deberá ser introducido al sistema es el rango mínimo de histéresis ya que si el usuario introduce un valor menor, la HMI presentará un mensaje de error explicando que el dato está incorrecto, de igual manera si el límite inferior es mayor que el superior se presentará un mensaje de error.

La Figura 3.2 muestra el comportamiento típico de un control tipo ON / OFF con lazo de histéresis juntamente con la acción de control tomada, es decir, si las lámparas se encuentran encendidas o apagadas.

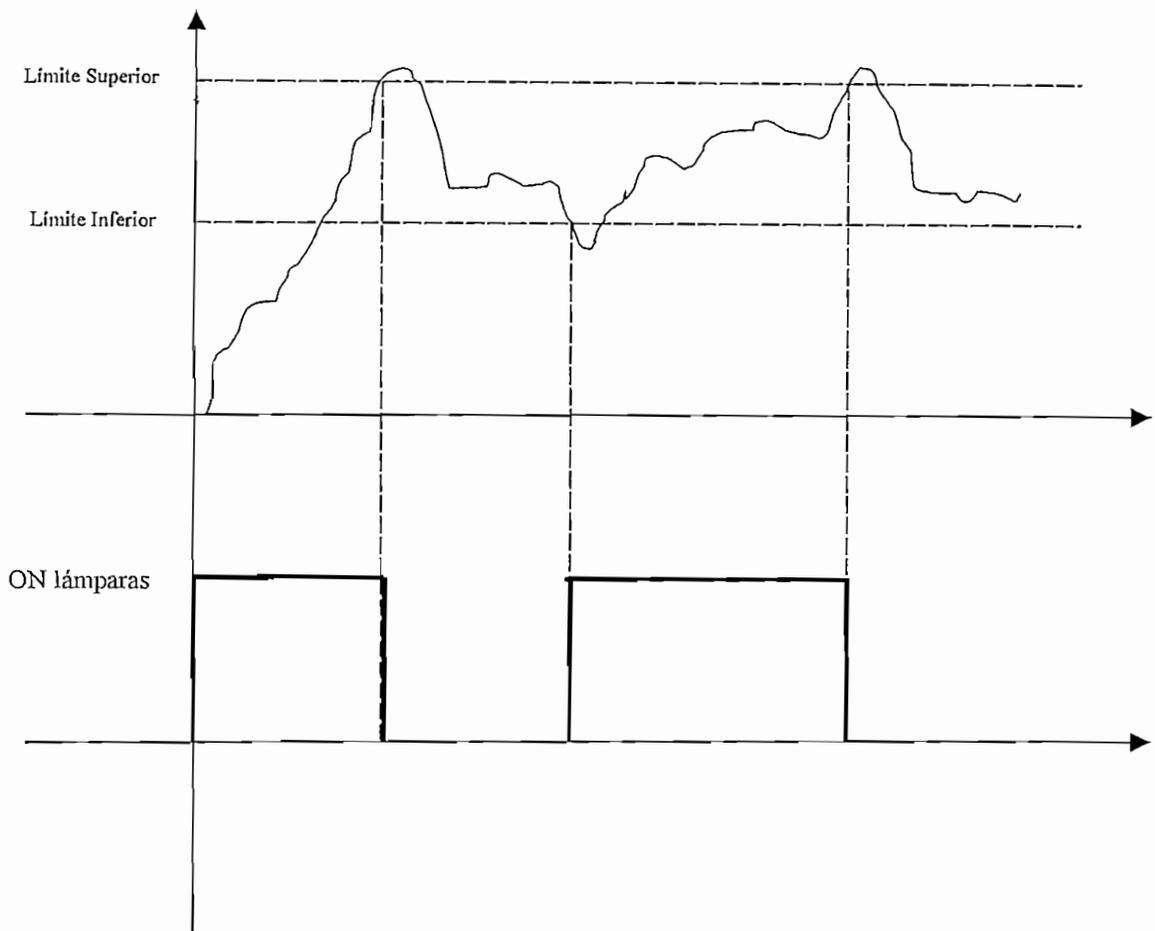


Figura 3.2 Control ON / OFF con lazo de histéresis

Se decidió que el usuario puede trabajar bajo dos modos: el MANUAL y el AUTOMÁTICO. Para el modo manual, el usuario será el encargado de verificar si el valor de radiación está dentro del rango requerido. Si el valor es menor o mayor, la acción a tomar por el usuario podría ser el encender o no manualmente las lámparas, la decisión dependerá de las consideraciones técnicas del operador

Para el modo automático, el control del sistema se lleva a cabo con respecto al rango seteado, pues si la radiación existente en el invernadero es menor al límite inferior, las lámparas se encenderán inevitablemente (esto con el objetivo de suplir la radiación natural y mantener dentro del invernadero un nivel adecuado de radiación)

y se registrarán alarmas en el PC. Para el caso contrario, es decir, si la radiación existente es mayor al límite superior, la lámparas se apagarán.

A continuación, en la Figura 3.3, se muestra el diagrama de flujo que describe el funcionamiento.

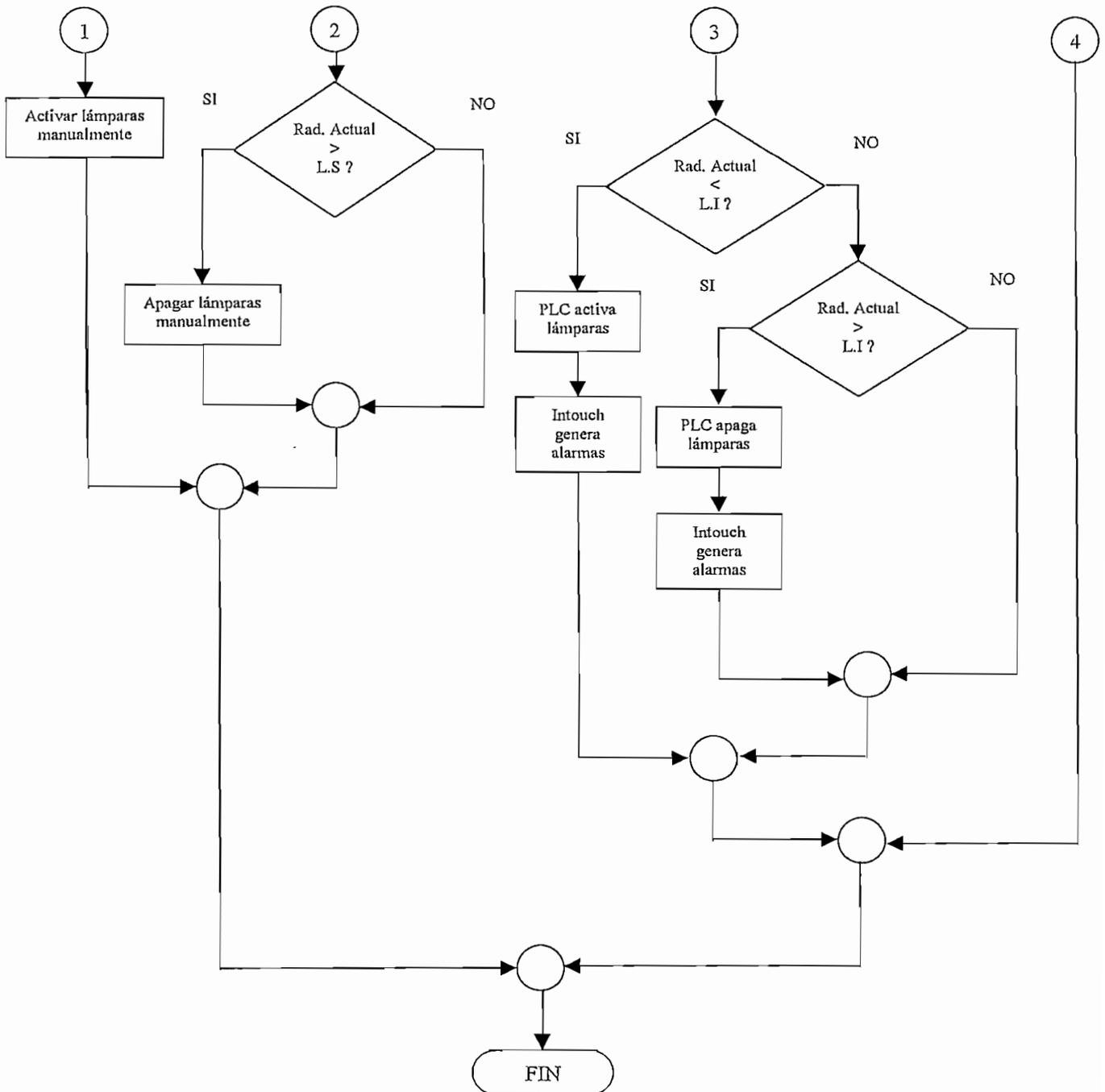


Figura 3.3 Diagrama de Flujo.

### 3.3 DESCRIPCION GENERAL DE LA PROGRAMACION EN EL PLC

Para programar el PLC se utiliza un software específico para el modelo de PLC elegido, el mismo que se denomina STEP 7 MICRO WIN 32. Step 7 introduce un programa lógico que se basa en un diagrama de impresión de relés eléctricos o diagrama "Ladder". Los componentes básicos para conocer y programar Step 7 se presentan a continuación en la Figura 3.4:

#### 3.3.1 COMPONENTES DE LA VENTANA DE STEP 7 MICRO/WIN 32<sup>2</sup>

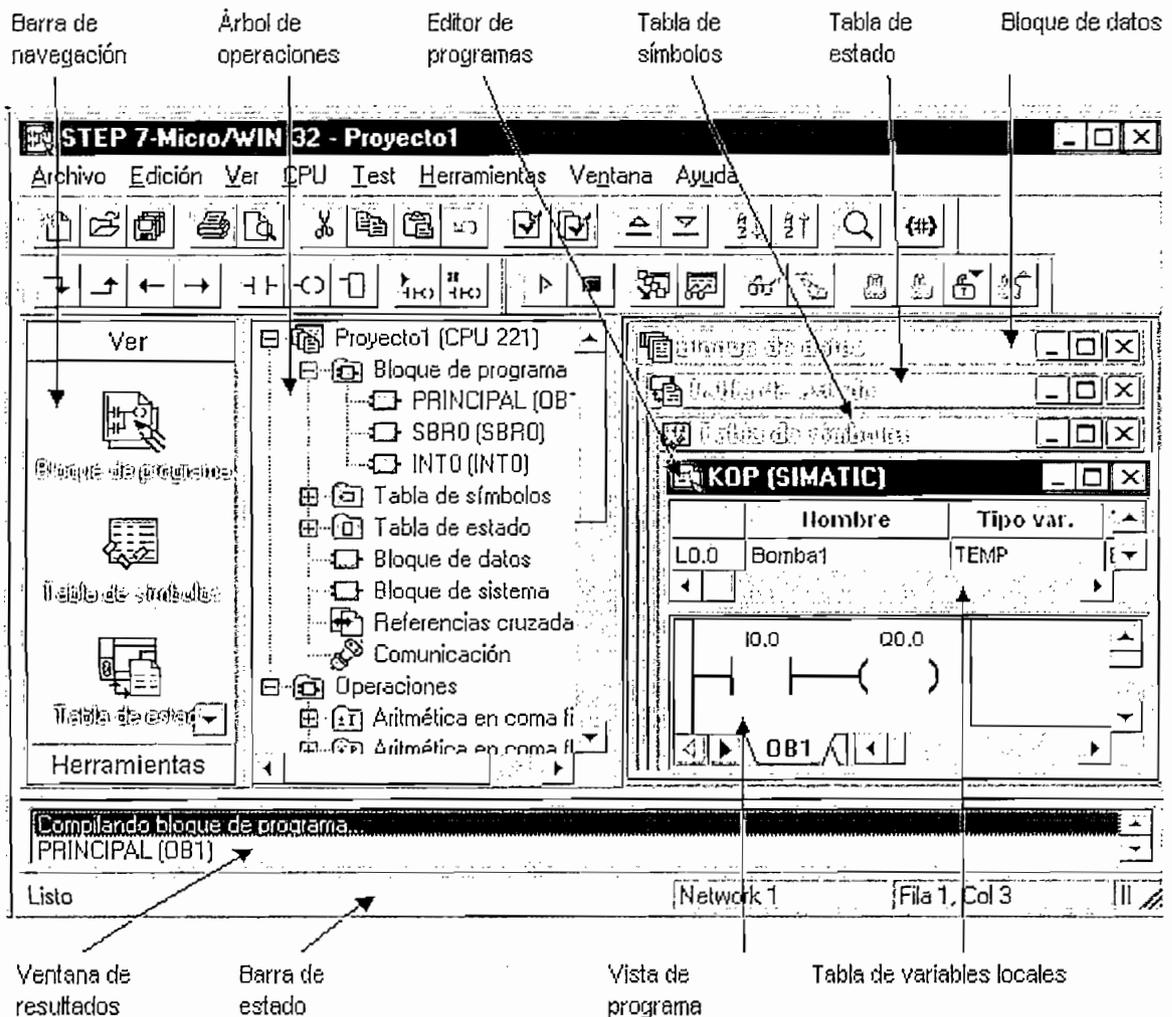


Figura 3.4 Componentes de la Ventana de Step 7.

<sup>2</sup> SIEMENS, STEP 7- Micro/WIN 32, Versión de Prueba, 3.02, IEC 1131 – 3, Sección AYUDAS.

*Barra de menús.* Permite ejecutar funciones utilizando el ratón o combinaciones de teclas. El menú Herramientas se puede personalizar agregando aplicaciones propias.

*Barras de herramientas.* Permiten acceder fácilmente con el ratón a las funciones de STEP 7-Micro/WIN 32 utilizadas con frecuencia. El contenido y el aspecto de cada una de las barras de herramientas se puede personalizar.

*Barra de navegación.* Incorpora grupos de botones para facilitar la programación:

"**Ver**"—Seleccione esta categoría para visualizar los botones Bloque de programa, Tabla de símbolos, Tabla de estado, Bloque de datos, Bloque de sistema, Referencias cruzadas y Comunicación.

"**Herramientas**"—Seleccione esta categoría para visualizar los botones del Asistente de operaciones y del Asistente TD 200.

Nota: Si la barra de navegación contiene objetos que no se puedan mostrar debido al tamaño actual de la ventana, se visualizarán botones que permiten desplazarse hacia arriba o hacia abajo para ver los demás objetos.

*Árbol de operaciones.* Ofrece una vista en árbol de todos los objetos del proyecto y de todas las operaciones disponibles en el editor de programas actual (KOP, FUP o AWL). Para insertar unidades de organización del programa adicionales (UOPs), en el área de proyectos del árbol, haga clic con el botón derecho del ratón en la carpeta en cuestión. Asimismo, puede pulsar el botón derecho del ratón en una UOP individual para abrirla, cambiar su nombre, borrarla o editar su hoja de propiedades. Estando en el área de operaciones del árbol, puede hacer clic con el botón derecho del ratón en una carpeta o en una operación individual, con objeto de ocultar el árbol entero. Tras abrir una carpeta de operaciones, puede insertar operaciones en la ventana del editor de programas (sólo en KOP y FUP, no en AWL), haciendo doble clic en la operación en cuestión o utilizando el método de arrastrar y soltar.

**Tabla de variables locales.** Contiene asignaciones hechas a las variables locales (es decir, a las variables utilizadas por las subrutinas y las rutinas de interrupción). Las variables creadas en la tabla de variables locales utilizan la memoria temporal. El sistema se encarga de gestionar la asignación de direcciones. Las variables locales sólo se pueden utilizar en la unidad de organización del programa (UOP) donde se hayan creado.

**Editor de programas.** Contiene la tabla de variables locales y la vista del programa correspondiente al editor (KOP, FUP, o AWL) que se esté utilizando en el proyecto actual. En caso necesario, la barra de división se puede arrastrar para ampliar la vista del programa y cubrir la tabla de variables locales. Si se han creado subrutinas o rutinas de interrupción además del programa principal (OB1), aparecerán fichas en el lado inferior de la ventana del editor de programas. Para desplazarse entre las subrutinas, las rutinas de interrupción y el programa principal (OB1) puede hacer clic en la ficha en cuestión.

**Ventana de resultados.** Visualiza mensajes de información cuando se compila el programa. Si se indican errores en dicha ventana, puede hacer doble en un mensaje de error. El segmento en cuestión se visualizará entonces en la ventana del editor de programas.

**Barra de estado.** Informa acerca del estado de las funciones que se ejecuten en STEP 7-Micro/WIN 32.

**Tabla de símbolos/Tabla de símbolos globales.** Permite asignar y editar símbolos globales (es decir, valores simbólicos que se pueden utilizar en cualquier unidad de organización del programa (UOP) y no sólo en la UOP donde se ha creado el símbolo). Es posible crear varias tablas de símbolos. La tabla de símbolos (tabla de variables globales) incorpora también una ficha que contiene los símbolos definidos por el sistema que se pueden utilizar en el programa de usuario.

*Tabla de estado.* Permite observar el estado de las entradas, salidas y variables del programa. Es posible crear varias tablas de estado para visualizar elementos de diferentes partes del programa. Cada una de dichas tablas tiene su propia ficha en la ventana Tabla de estado.

*Bloque de datos/Inicializador de datos.* Permite visualizar y editar el contenido del bloque de datos.

### **3.3.2 FUNCIONAMIENTO DEL PROGRAMA DE CONTROL**

Cuando un programa se carga en la CPU y ésta se pone en modo RUN, la CPU ejecuta el programa en el siguiente orden:

1. La CPU lee el estado de todas las entradas conectadas a la misma. Los datos se almacenan en la imagen del proceso de las entradas.
2. La CPU utiliza dichas entradas para evaluar (o ejecutar) la lógica del programa de control.
3. Tras evaluar el programa, la CPU almacena los resultados de la lógica en la imagen del proceso de las salidas.
4. Al final del programa, la CPU escribe los datos de la imagen del proceso de las salidas en las salidas físicas.
5. El ciclo de tareas se repite.

La ejecución repetitiva de las tareas de la CPU se denomina ciclo. El ciclo de la CPU S7-200 incluye las siguientes tareas:

1. Leer las entradas digitales.
2. Ejecutar el programa.
3. Procesar las peticiones de comunicación.
4. Efectuar un autodiagnóstico.
5. Escribir en las salidas digitales o analógicas.

### 3.3.3 DESARROLLAR UN PROGRAMA

#### 3.3.3.1 Elementos básicos de un programa de control

El programa de control de una CPU S7-200 comprende los siguientes tipos de unidades de organización del programa (UOP):

*Programa principal.* En el programa principal se implementan las operaciones que controlan la aplicación. Las operaciones del programa principal se ejecutan de forma secuencial en cada ciclo de la CPU.

*Subrutinas.* Una subrutina comprende un juego opcional de operaciones depositado en un bloque por separado que se ejecuta sólo cuando se llama desde el programa principal.

*Rutinas de interrupción.* Una rutina de interrupción comprende un juego opcional de operaciones depositado en un bloque por separado que se ejecuta sólo cuando ocurre el correspondiente evento de interrupción.

STEP 7-Micro/WIN 32 organiza el programa de usuario, incorporando fichas para cada unidad de organización del programa. La primera ficha corresponde siempre al programa principal (OB1), siguiéndole las subrutinas y/o las rutinas de interrupción que se hayan creado opcionalmente.

#### 3.3.3.2 Determinar las unidades de organización del programa

Puesto que el programa se encuentra estructurado (cada unidad de organización del programa ocupa una ficha por separado), se sabe exactamente donde terminan el OB1 o las diversas subrutinas y rutinas de interrupción. El compilador termina cada unidad de organización del programa con una operación END, MEND, RET o RETI,

según sea necesario. El usuario no debe incorporar dichas operaciones en el programa; caso contrario, el compilador indicará un error.

### **3.3.3.3 Ventajas de las Subrutinas**

Las subrutinas se adecuan para funciones que se deban ejecutar varias veces. Así, en vez de tener que escribir la lógica de la función en cada posición del programa principal donde aquella se deba ejecutar, basta con escribirla sólo una vez en una subrutina y llamar a la subrutina desde el programa principal cada vez que se necesite. Ello aporta varios beneficios:

1. Se reduce la longitud total del programa.
2. El tiempo de ciclo también se acorta, puesto que el código se ha retirado del programa principal (donde se evalúa en cada ciclo, así se ejecute o no). La subrutina se puede invocar de forma condicional, por lo que no se evalúa durante los ciclos en los que no se llame a la misma.
3. Las subrutinas se pueden transportar fácilmente, permitiendo aislar una función y copiarla a otros programas sin necesidad de efectuar cambios o con sólo pocas modificaciones.

Nota: La utilización de la memoria *V* limita la portabilidad de las subrutinas, porque la asignación de direcciones de un programa en la memoria *V* puede estar en conflicto con la asignación en otro programa. En cambio, las subrutinas que utilizan la tabla de variables locales para todas las asignaciones de direcciones se pueden transportar muy fácilmente, puesto que no presentan el riesgo de conflictos de direcciones.

### **3.3.3.4 Rutinas de interrupción**

Las rutinas de interrupción se pueden programar para gestionar eventos de interrupción predefinidos: las rutinas de interrupción no son invocadas por el programa principal, sino que el sistema operativo de la CPU las llama cuando ocurre

el correspondiente evento de interrupción. Puesto que no es posible saber con anterioridad cuándo el sistema llamará a una rutina de interrupción, no es deseable que ésta escriba en la memoria que se pueda estar utilizando en otra parte del programa. Utilizando la tabla de variables locales se puede asegurar que las rutinas de interrupción utilicen únicamente la memoria temporal, de manera que no sobrescriban los datos de otra parte del programa.

### 3.3.3.5 Elementos y su funcionamiento

El Esquema de contactos (KOP) es un lenguaje de programación gráfico con componentes similares a los elementos de un esquema de circuitos. Al programar con KOP, se crean y se disponen componentes gráficos que conforman un segmento de operaciones lógicas. Para crear programas se dispone de los siguientes elementos:



**Contactos.** Representan un interruptor por el que la corriente puede circular. La corriente fluye por un contacto normalmente abierto sólo cuando el contacto está cerrado (es decir, cuando su valor lógico es "1"). De forma similar, la corriente circula por un contacto normalmente cerrado o negado (NOT) sólo cuando dicho contacto está abierto (es decir, cuando su valor lógico es "0").



**Bobinas.** Representan un relé o una salida excitada por la corriente.



**Cuadros.** Representan una función (por ejemplo, un temporizador, un contador o una operación aritmética) que se ejecuta cuando la habilitación llega al cuadro.

Un segmento comprende dichos elementos, constituyendo un circuito completo. La corriente circula desde la barra de alimentación izquierda (representada en el editor KOP mediante una línea vertical del lado izquierdo de la ventana) a través de los contactos cerrados para excitar las bobinas o los cuadros.

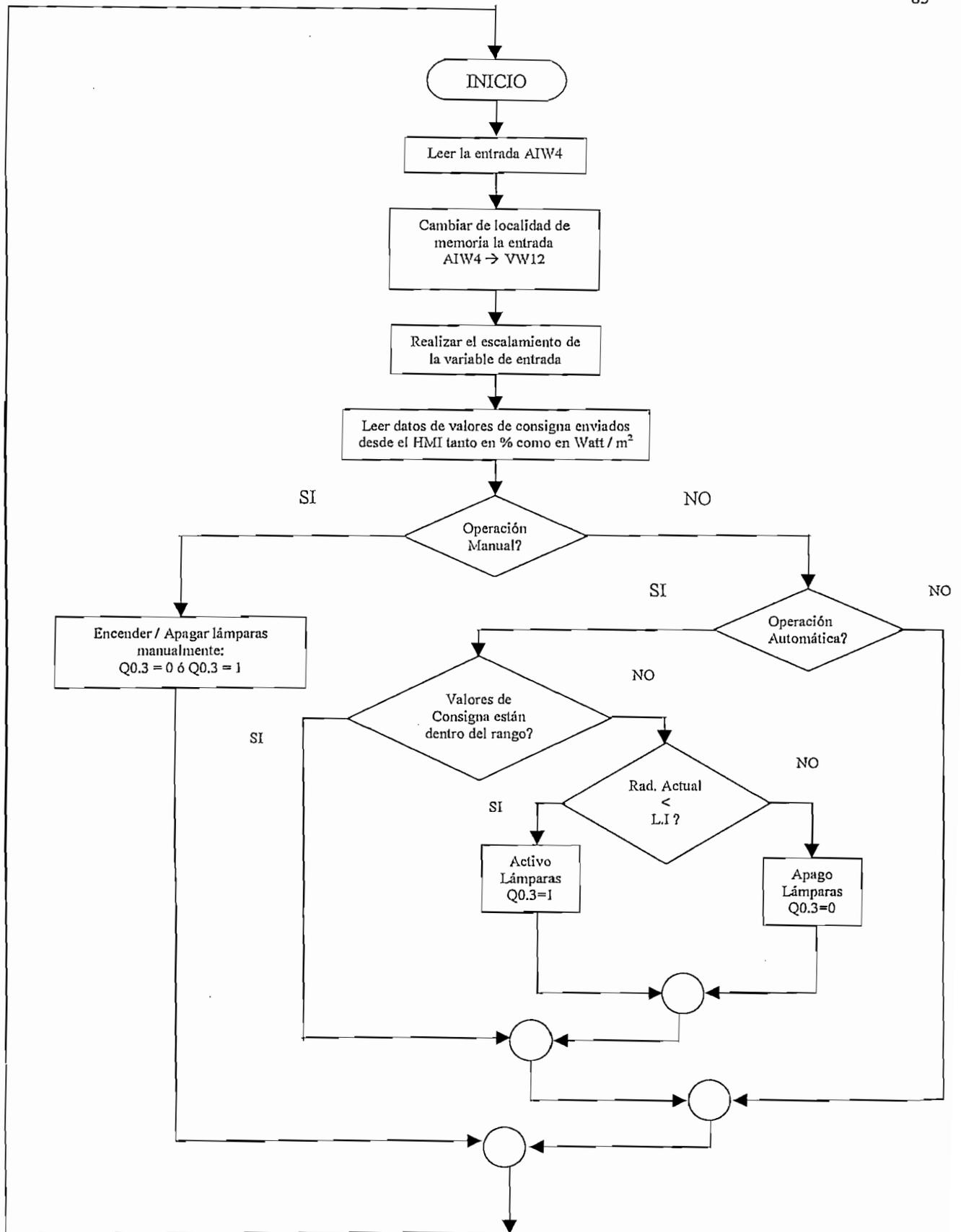


Figura 3.5 Diagrama de Flujo del Programa residente en el PLC

Otro aspecto importante que es necesario conocer constituye la comunicación entre el PC y el PLC para lo cual se utiliza el cable denominado PC / PPI y cuya configuración es la siguiente:

### **3.3.3.6 Configurar la comunicación utilizando el cable PC/PPI**

#### **Protocolo de comunicación**

Las CPUs S7-200 soportan diversos métodos de comunicación uno de ellos es el protocolo de comunicación PPI (Interface punto a punto).

Este protocolo se basa en la intercomunicación de sistemas abiertos (OSI) de la arquitectura de siete capas. El protocolo PPI se implementa en una red "token ring" (red de anillo con testigo) conforme al estándar Process Field Bus (PROFIBUS) que se describe en la norma europea EN 50170. Se trata de un protocolo asincrónico de caracteres que utilizan un bit de inicio, ocho bits de datos, un bit de paridad par y un bit de parada. Los bloques de comunicación dependen de los caracteres especiales de inicio y de parada, de las direcciones de estación de fuente y de destino, de la longitud de los bloques y de la suma de verificación para garantizar la integridad de los datos.

PPI es un protocolo maestro/esclavo. Los maestros (otras CPUs, unidades de programación SIMATIC o visualizadores de textos TD 200) envían peticiones a los esclavos y éstos últimos responden. Los esclavos no inician mensajes, sino que esperan a que un maestro les envíe una petición o solicite una respuesta. Todas las CPUs S7-200 actúan de estaciones esclavas en la red.

Aquí se explica como configurar la comunicación entre la CPU S7-200 y el PC utilizando el cable PC / PPI. Esta es una configuración con un solo maestro y sin ningún otro equipo de hardware instalado (como p.ej. un módem o una unidad de programación.)

### *Conectar el PC a la CPU*

La Figura 3.6 muestra una configuración típica para conectar el PC a la CPU utilizando el cable PC/PPI. Para establecer un enlace correcto entre los componentes:

1. Ajustar los interruptores DIP del cable PC/PPI a la velocidad de transferencia asistida por su PC. Seleccionar también las opciones "11 bits" y "DCE" si su cable PC/PPI las asiste.
2. Conectar el extremo RS-232 ("PC") del cable PC/PPI al puerto de comunicaciones de su PC (COM1 ó COM2) y apretar los tornillos.
3. Conectar el extremo RS-485 ("PPI") del cable PC/PPI al puerto de comunicaciones de la CPU y apretar los tornillos.

Los datos técnicos del cable PC/PPI se indican en el Anexo D.

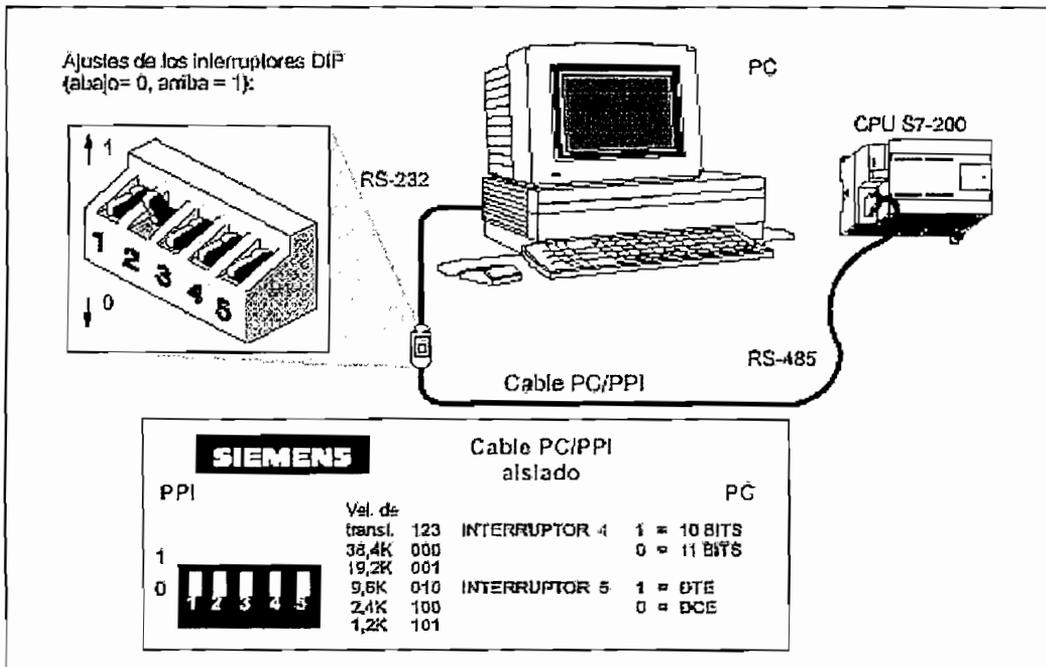


Figura 3.6 Comunicación con una CPU en modo PPI.

### 3.3.3.7 Verificar los parámetros estándar del interface de comunicación

Para verificar los parámetros estándar de la interface, se debe seguir los siguientes pasos:

1. En la ventana de STEP 7-Micro/WIN 32, hacer clic en el icono "Comunicación" o elegir el comando de menú **Ver > Comunicación**. Aparecerá el cuadro de diálogo "Enlaces de comunicación".
2. En el cuadro de diálogo "Enlaces de comunicación", hacer doble clic en el icono del cable PC/PPI. Aparecerá el cuadro de diálogo "Ajustar interface PG/PC" (ver Figura 3.7).
3. Hacer clic en el botón "Propiedades" para acceder al cuadro de diálogo donde se visualizan las propiedades del interface (ver Figura 3.8). Verificar las propiedades. La velocidad de transferencia estándar es de 9.600 kbit/s

Nota: Si el hardware que se está utilizando no aparece en la lista visualizada en el cuadro de diálogo "Ajustar interface PG/PC", se deberá instalar el hardware correcto.



Figura 3.7 Ajustes en el cuadro de diálogo "Interface PG / PC"

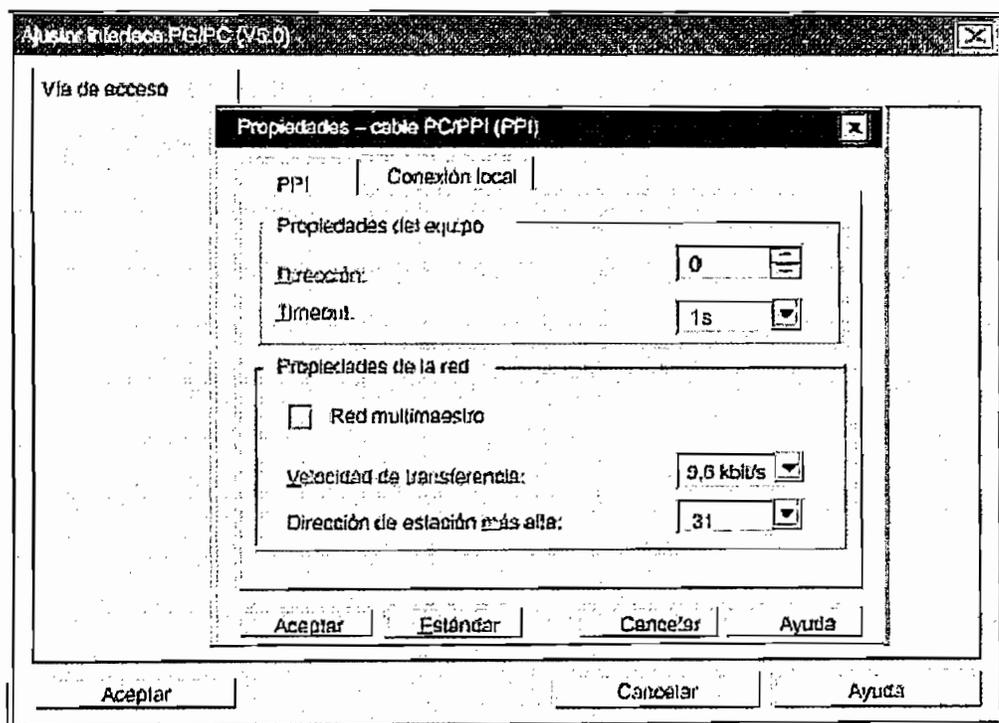


Figura 3.8 Cuadro de Diálogo "Propiedades – Interface PG / PC".

### 3.3.3.8 Establecer la comunicación con la CPU

Tras haber instalado el software STEP 7-Micro/WIN 32 en el PC y determinado los ajustes de comunicación del cable PC/PPI, se podrá establecer un enlace con la CPU S7-200. (Si se está utilizando una unidad de programación, STEP 7-Micro/WIN 32 ya estará instalado). Para establecer la comunicación con la CPU S7-200, se sigue los siguientes pasos:

1. En la pantalla de STEP 7-Micro/WIN 32, hacer clic en el icono "Comunicación" o elegir el comando de menú **Ver > Comunicación**. Aparecerá el cuadro de diálogo "Enlaces de comunicación" donde se indica que no hay ninguna CPU conectada.
2. En el cuadro de diálogo "Enlaces de comunicación", hacer doble clic en el icono "Actualizar". STEP 7-Micro/WIN 32 verifica si hay CPUs S7-200 (estaciones conectadas), hasta la dirección de estación más alta indicada en la configuración de los parámetros de comunicación. Por cada estación conectada aparecerá un icono de CPU en el cuadro de diálogo "Enlaces de comunicación" (ver Figura 3.9).
3. Hacer doble clic en el icono de la CPU con la que se desea establecer la comunicación. Como se podrá apreciar, los parámetros de comunicación visualizados en el cuadro de diálogo corresponden a la estación seleccionada.
4. Así queda establecido el enlace con la CPU S7-200.

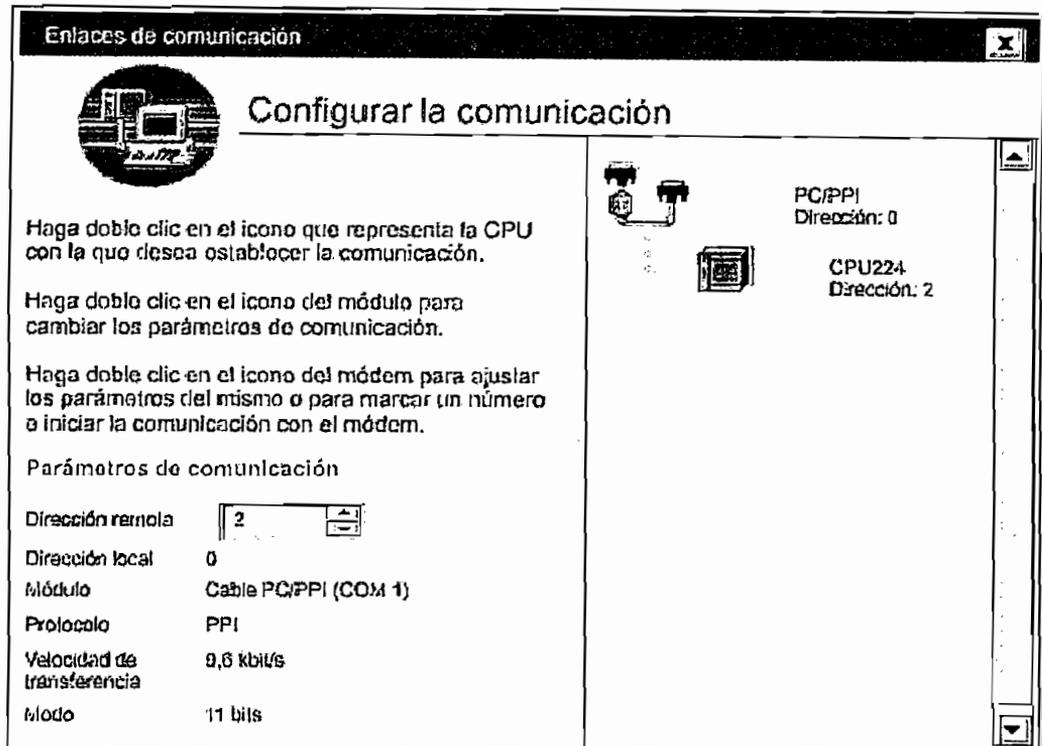


Figura 3.9 Cuadro de Diálogo "Enlaces de Comunicación"

### 3.3.3.9 Cambiar los parámetros de comunicación de la CPU

Tras haber establecido un enlace con la CPU S7-200, se puede verificar o cambiar los parámetros de comunicación de la CPU. Para cambiar los parámetros de comunicación, se sigue los siguientes pasos:

1. En la barra de navegación, hacer clic en el icono "Bloque de sistema" o elegir el comando de menú **Ver > Bloque de sistema**.
2. Aparecerá el cuadro de diálogo "Bloque de sistema". Hacer clic en la ficha "Puerto(s)" (Figura 3.10). El ajuste estándar de la dirección de estación es 2 y el de la velocidad de transferencia es de 9,6 kbit/s.

3. Hacer clic en "Aceptar" para conservar esos parámetros. Si desea modificar la parametrización, efectúe los cambios deseados y haga clic en el botón "Aceptar".
4. En la barra de herramientas, hacer clic en el botón "Cargar en CPU" para cargar los cambios en la CPU.

Así se adopta la parametrización deseada para la comunicación.

The image shows a software dialog box titled "Bloque de sistema". It contains several tabs at the top: "Filtrar entradas analógicas", "Bits de captura de impulsos", and "Tiempo en segundo plano". Below these are more tabs: "Puerto(s)", "Áreas remanentes", "Contraseña", "Asignar salidas", and "Filtros de entrada". The main area is divided into three columns: "Puerto 0", "Puerto 1", and "Estándar".

	Puerto 0	Puerto 1	Estándar
<b>Dirección CPU:</b>	2	2	(margen 1...126)
<b>Dirección más allá:</b>	31	31	(margen 1...126)
<b>Velocidad de transferencia:</b>	9,6 kbit/s	9,6 kbit/s	
<b>Contaje de repetición:</b>	3	3	(margen 0...8)
<b>Factor de actualización GAP:</b>	10	10	(margen 1...100)

Para que los parámetros de configuración tengan efecto, es preciso cargarlos previamente en la CPU.  
 No todos los tipos de CPUs asisten todas las opciones del bloque de sistema.  
 Pulse F1 para visualizar las opciones que soportan las distintas CPUs.

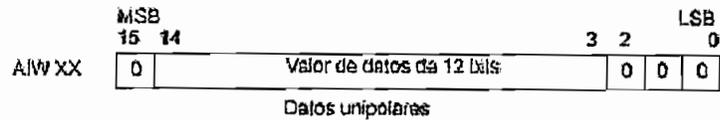
At the bottom, there are two buttons: "Aceptar" and "Cancelar".

Figura 3.10 Cambiar los parámetros de comunicación.

Una vez establecidos todos los parámetros para la comunicación con el PC, no se necesita otro aditamento adicional por lo cual se puede cargar o descargar un programa al PLC, sin ningún inconveniente.

### 3.3.3.10 Tratamiento de la variable analógica

El formato de la palabra de datos de entrada del módulo de ampliación de entradas analógicas se presenta a continuación:



Como se puede observar, el módulo trabaja con 12 bits de valor de conversión analógica/digital.

Las entradas analógicas usadas son de corriente y presentan las siguientes características:

<i>Rango de la variable de entrada en A:</i>	4 a 20 mA
<i>Rango de la variable transformada en porcentaje</i>	0 a 100 %
<i>Rango de la variable transformada en Watt / m<sup>2</sup></i>	0 a 2000 Watt / m <sup>2</sup>

**Resolución:** es el mínimo cambio que puede detectarse y se calcula dividiendo el rango máximo de la variable en mA, para el rango máximo del valor de entrada en el conversor A/D, así:

$$\frac{20mA}{32767} = 0.61037\mu A \quad \text{Ec. 3.1}$$

**Pendiente (p):** Relación entre "escala máxima menos escala mínima de la variable en porcentaje o en Watt / m<sup>2</sup>" y "valor máximo menos valor mínimo obtenido de la entrada del conversor A/D", así:

$$p = \frac{100 - 0}{32767 - 6654} = \frac{100}{26113} \quad \text{Ec. 3.2}$$

$$p = \frac{2000 - 0}{32767 - 6654} = \frac{2000}{26113} \quad \text{Ec. 3.3}$$

**Offset.** El comportamiento de la variable es igual al de una gráfica de una línea recta, cuyo origen no se encuentra en la posición  $x = 0$ ,  $y = 0$ , por lo que es necesario encontrar el valor de corrimiento de "Y" cuando "X = 0", la representación gráfica se muestra en la Figura 3.11.

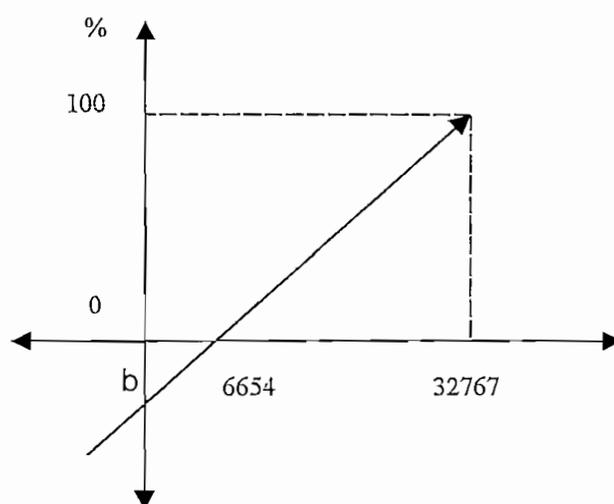


Figura 3.11 Representación gráfica del comportamiento de la variable de entrada.

Aplicando la fórmula que representa una línea recta y con las condiciones para los puntos extremos se puede encontrar el punto "b", así:

$$y = m * x + b \quad \text{Ec 3.4}$$

$$100 = m * (32767) + b$$

$$0 = m * (6654) + b$$

Resolviendo el sistema de ecuaciones obtenemos el valor deseado, por lo que:

$$b = 25.4815$$

Para el caso del valor en Watt / m<sup>2</sup> se aplica el mismo procedimiento, por lo que :

$$b = -509.631$$

**Valor escalado.** Corresponde al valor de la variable registrada en el conversor multiplicada por el valor de la pendiente y este resultado sumado al offset.

$$\text{En \%} \quad \left( (0 \text{ a } 32767) * \frac{100}{26113} \right) - 25.4815 \quad \text{Ec. 3.5}$$

$$\text{En Watt / m}^2 \quad \left( (0 \text{ a } 32767) * \frac{2000}{26113} \right) - 509.631 \quad \text{Ec. 3.6}$$

Con esto se ha escalado el valor de la variable de entrada, puesto que el PLC convierte la señal de entrada (4 a 20 mA) en un valor entendible para él (0 a 32767), por lo cual es necesario realizar este escalamiento para transformar el valor mencionado en valores porcentuales o de Watt / m<sup>2</sup>.

Con esta explicación se ha concluido lo referente a la programación en el PLC y su comunicación con un PC. A continuación se desarrollará el HMI con la utilización del Paquete Intouch.

## 3.4 DISEÑO DEL HMI

### 3.4.1 DESCRIPCION DEL PROBLEMA

En el edificio de Ingeniería Civil se dispone de un invernadero piloto, el cual se quiere automatizar, para lo cual es necesario controlar las variables que intervienen en el proceso de desarrollo de un cultivo tales como: temperatura, humedad relativa, humedad del ambiente, PH, electroconductividad, radiación solar global, etc.

De las variables mencionadas, la radiación solar global será aquella a la cual se realizará el monitoreo y control en este proyecto, mediante la utilización de fuentes de luz artificial, que para el caso serán lámparas de "LUZ DEL DIA".

El esquema de la planta descrita se presenta en la Figura 3.12

El sistema de iluminación lo conforman cuatro lámparas (Luz del Día), las mismas que al encenderse deberán suplir la falta de radiación solar natural, tomando en cuenta un valor de consigna que el usuario debe introducir previamente en base a criterios agronómicos.

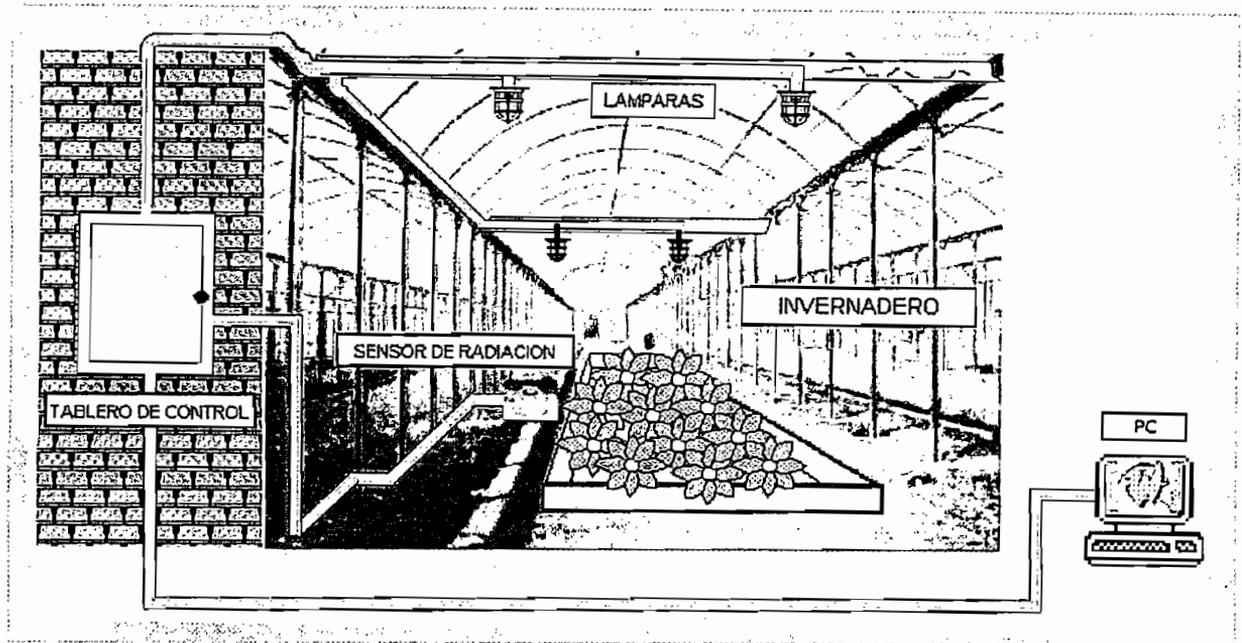


Figura 3.12 Planta.

Otra parte importante del sistema consiste en monitorear la radiación solar natural dentro del invernadero, registrarla ya sea en gráficos o en una hoja electrónica. Esta información será procesada por un PC. Con esto una persona calificada llevará un registro pormenorizado de la radiación para distintas épocas del año y así poder contar con datos reales aplicados a nuestra realidad geográfica.

El sensor de radiación es un Piranómetro modelo CM3 PYRANOMETER, cuya señal se ha acondicionada para obtener una salida normalizada entre 4 y 20 mA.

Resumiendo las características:

**Planta:**

Valor de Consigna de Radiación: el fijado por el usuario de un valor entre 0 y 2000 W / m<sup>2</sup> o de 0 a 100 %, ingresando dos valores: límite inferior y superior.

Tiempo de muestreo: 20 seg.

#### **Luminarias:**

Cantidad: cuatro

Tipo: Luz del día

Potencia: 100 Watts c/u

Alimentación: 110 V

#### **Acondicionamiento de radiación:**

Sensor: Piranómetro modelo CM3 PYRANOMETER

Rango de radiación medida: 0 – 2000 W / m<sup>2</sup> y 0 – 100 %

Rango de salida acondicionada: . 4 – 20 mA

#### **PC:**

- características mínimas:

Procesador: Pentium MMX, 200 Mhz.

Ram: 32MB.

Puertos seriales: uno extra, si el mouse es serial.

HD: 2GB

### **3.4.2 CONSIDERACIONES DE DISEÑO**

Los conceptos sobre los cuales se basa el diseño de la interfaz gráfica, parten de las necesidades que la planta requiera; sin embargo, no se debe dejar de lado los requerimientos de maniobrabilidad que la interfaz debe cumplir con el objetivo de que el usuario lo manipule sin mayor inconveniente. Para cumplir lo mencionado se plantean las siguientes consideraciones:

- Un paquete que cumple con las condiciones de confiabilidad en ambientes industriales es el Intouch. Una de sus cualidades, por las que además fue elegido, es que tiene la facilidad de comunicación en todo momento con un PLC, el mismo

que tiene grabado el programa de control, en tanto que Intouch realiza las acciones de supervisión y registro de datos.

- Las animaciones de la planta deben representar en forma lo más fidedigna posible lo que ocurre en el proceso real, de manera que el usuario con un simple vistazo al HMI, esté en capacidad de afirmar que el sistema trabaja o no correctamente, sin necesidad de verificar físicamente lo expuesto.
- Los datos adquiridos y que se presentan en las pantallas deben reflejar la realidad de lo medido.
- Las pantallas de Intouch deben ser diseñadas de tal manera que el usuario se sienta atraído por su entorno y no sienta tedio al utilizarlo. Esto se logrará creando un ambiente familiar al de Windows, con iconos, ayudas, etc. que permitan un manejo más versátil y conocido.
- Tomando en consideración la utilización de la planta, es imprescindible tomar medidas de seguridad, para el efecto se han definido tres tipos de usuarios: el administrador, agrónomo y operario. El usuario administrador es quien tiene el control total del programa, pudiendo asignar nuevos usuarios y passwords, realizar mejoras al programa base quitando o agregando elementos. El agrónomo podrá realizar acciones de control, imprimir reportes, verificar la marcha del proceso. Por último el operario, no podrá realizar ninguna acción de control y solo puede visualizar el proceso.

### **3.4.3 IMPLEMENTACION DE LA HMI**

Para el desarrollo del interfaz gráfico, el intouch requiere la creación de pantallas, tagnames, animaciones, etc., los mismos que utilizan las mismas herramientas y

elementos de desarrollo razón por la cual a continuación se describe un proceso general para su implementación.

### 3.4.3.1 Creación de una nueva Aplicación.

El proceso comienza abriendo Intouch, buscando la dirección correcta a través del botón "INICIO" de Windows, como se muestra en la Figura 3.13.

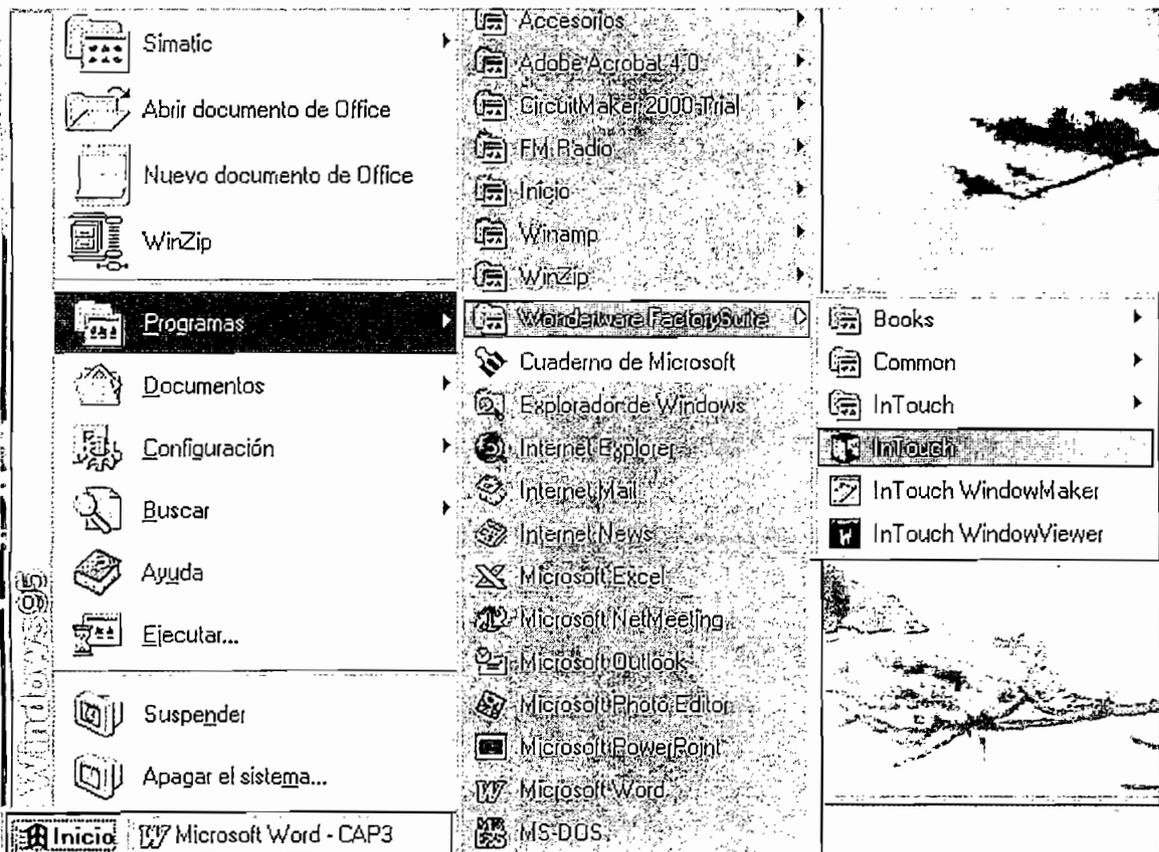


Figura 3.13 Abriendo Intouch.

Una vez abierto el Intouch, aparecerá inmediatamente una ventana, la misma que brinda las facilidades necesarias para crear la nueva aplicación. En el menú principal se selecciona el icono FILE y se escoge NEW, el programa le solicitará el nombre de

la nueva aplicación, su path y su confirmación, en las Figuras 3.14, 3.15, 3.16 se muestra lo dicho.

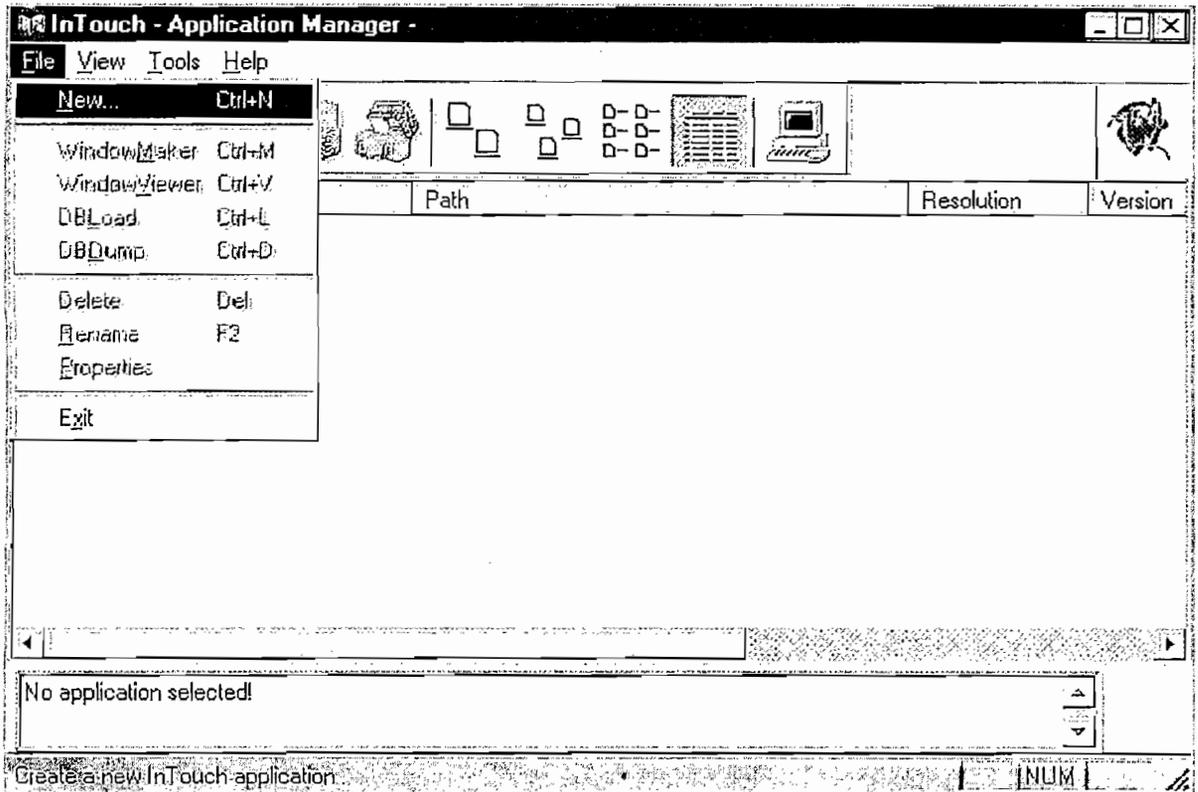


Figura 3.14 Creación de una nueva aplicación.

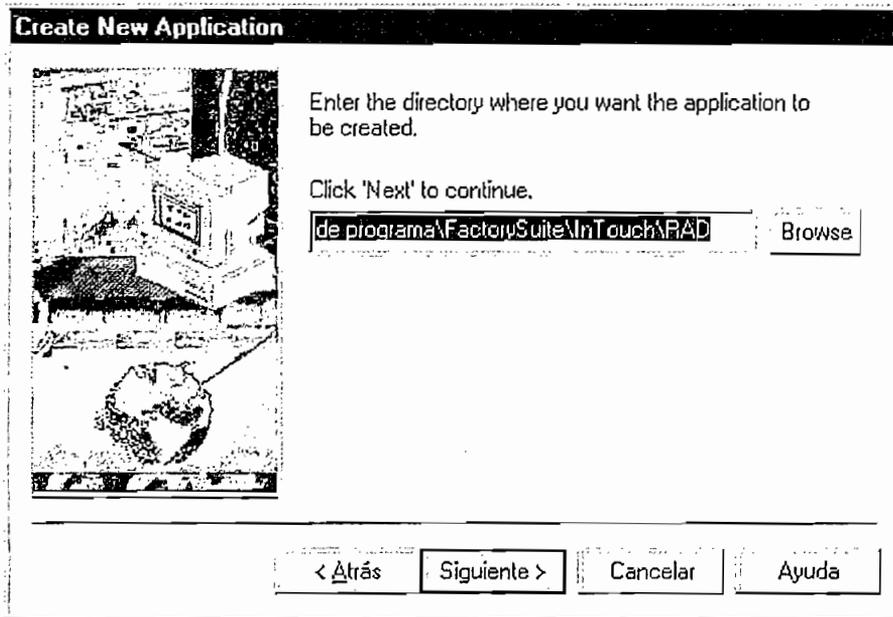


Figura 3.15 Intouch solicitando Path.

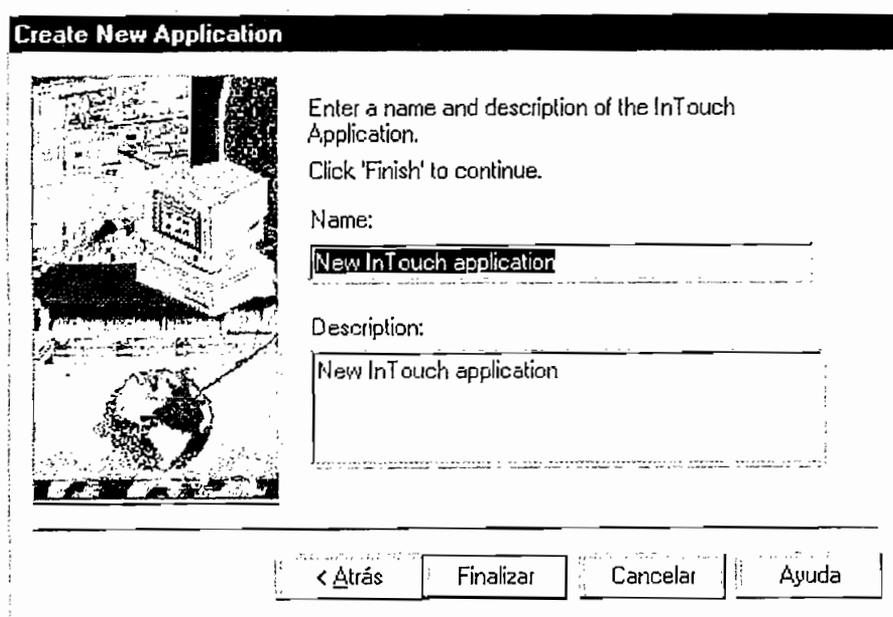


Figura 3.16 Finalizando la creación de la nueva aplicación.

Al presionar el ícono "Finalizar", en la pantalla de la Figura 3.14 se habilitará el ícono del WindowMaker, el cual permite acceder al ambiente de Intouch para crear las ventanas, esto se muestra en la Figura 3. 17.

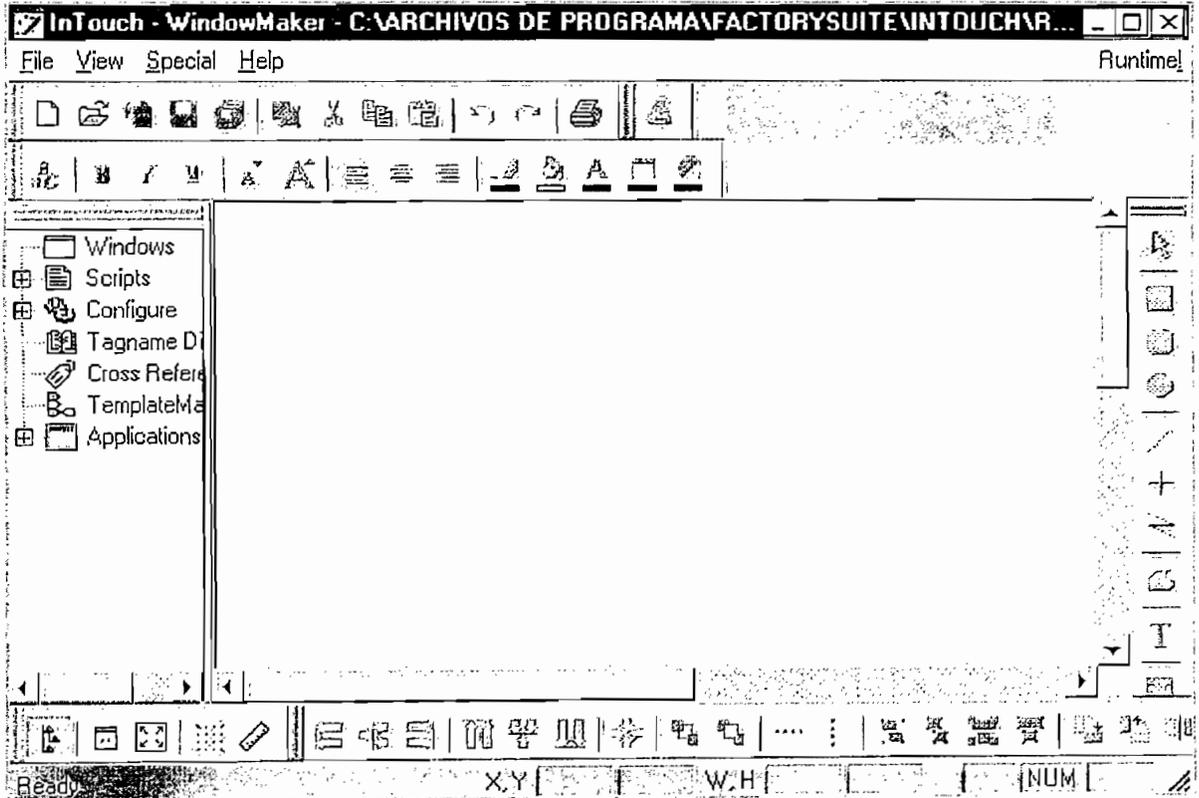


Figura 3.17 Ambiente de Intouch.

Para crear una nueva ventana, se selecciona en el menú de comandos **File / New**, las propiedades de la ventana aparecerán inmediatamente, como se muestra en la Figura 3.18.

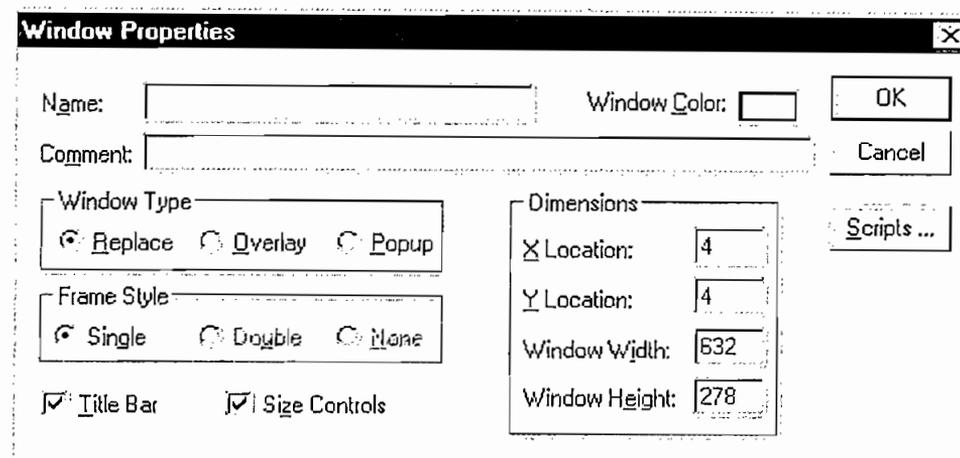


Figura 3.18 Propiedades de ventana.

Los datos necesarios para llenar las propiedades se detallan a continuación:

**Name.** Corresponde al nombre de la ventana que se desea crear.

**Comment.** Si el usuario desea se puede agregar comentarios de la ventana creada.

**Window Type.** Son las características del tipo de ventana, así:

Replace: cierra la presente ventana cuando se abre otra.

Overlay: aparece sobre las ventanas mostradas corrientemente y puede ser tan grande como las que está cubriendo.

Pop up: es similar a la ventana overlay, pero siempre permanece sobre las otras ventanas abiertas y desaparece si se escoge otra ventana, aún con un simple click.

**Frame Style.** Estilo de marco.

Single: ventana de bordes 3D, que puede tener una barra de título y controles de tamaño.

Double: ventana con bordes 3D que no tiene barra de título y no puede ser ajustada a un tamaño sin los controles de tamaño.

None: una ventana sin borde, que no puede ser cambiada de tamaño por los controles de tamaño.

**Title bar.** Visualiza a la ventana con el nombre asigna a ella.

**Dimensions.** Contiene la localización y dimensiones en pixels de las ventanas.

X location: el número de pixeles entre el filo izquierdo del área de diseño WindowMaker y el filo izquierdo de la ventana definida.

Y location: el número de pixels entre el borde superior de WindowMaker y la ventana definida.

Window width: el ancho de la ventana en pixels.

Window height: el alto en pixels.

**Scripts.** Escrituras.

Despliega el editor de Window Script. Hay tres tipos de scripts que pueden ser aplicados a las ventanas:

On show: tiempo de ejecución, cuando la ventana es inicialmente mostrada.

While show: ejecuta continuamente con una frecuencia especificada cuando la ventana está mostrándose.

On Hide: tiempo de ejecución, cuando la ventana está oculta.

**Creación de Objetos:**

Para la animación de las pantallas, Intouch posee una variedad de elementos tales como botones, sliders, indicadores, frames, paneles, etc. además de elementos más elaborados que permiten construir plantas sobre las cuales se van a observar el funcionamiento de un determinado proceso. Tales elementos lo encontramos dentro de los Wizards y del paquete Productivity Pack. La Figura 3.19 muestra los componentes del Wizard.

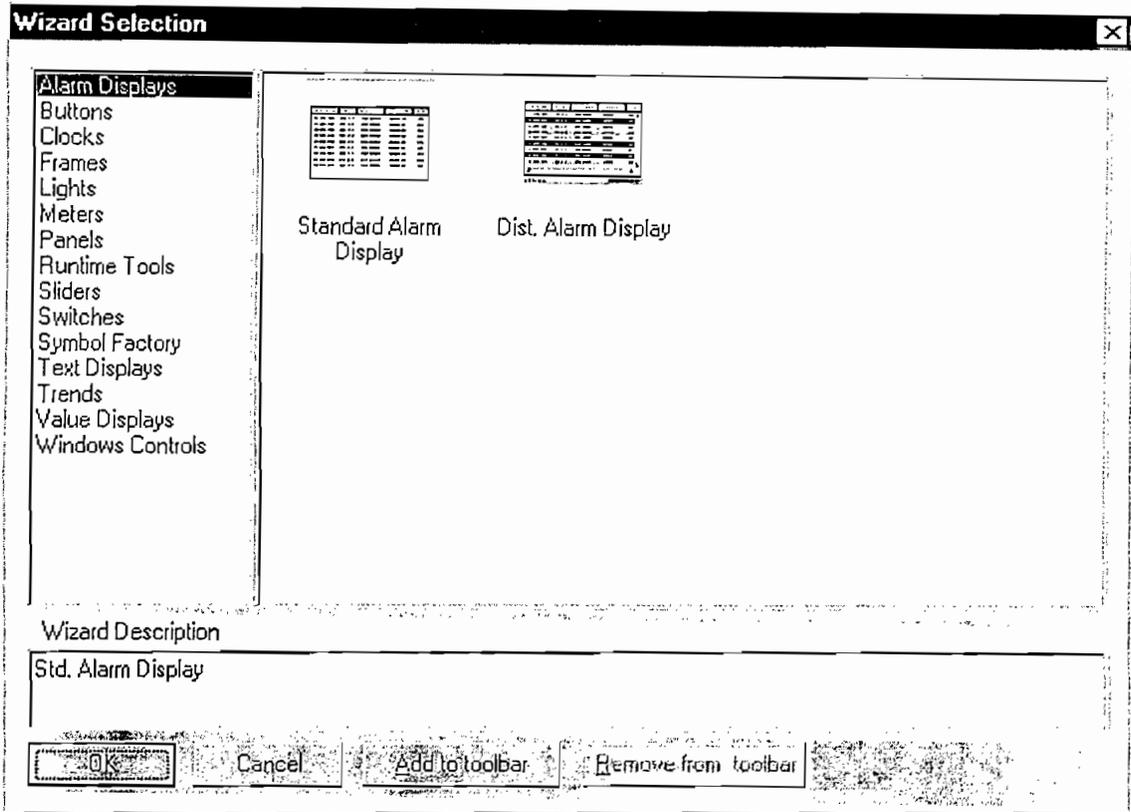


Figura 3.19 Elementos del Wizards.

Si el usuario escoge la opción Symbol Factory, Intouch desplegará varios sub – menús que permitirán elaborar la planta de manera más real, esto se muestra en la Figura 3.20.

- Intouch solicitará confirmar la creación del nuevo tag. (Figura 3.22).
- Inmediatamente aparecerá otra ventana, TAGNAME DICTIONARY la misma que contiene información a cerca de la variable. (Figura 3.23).

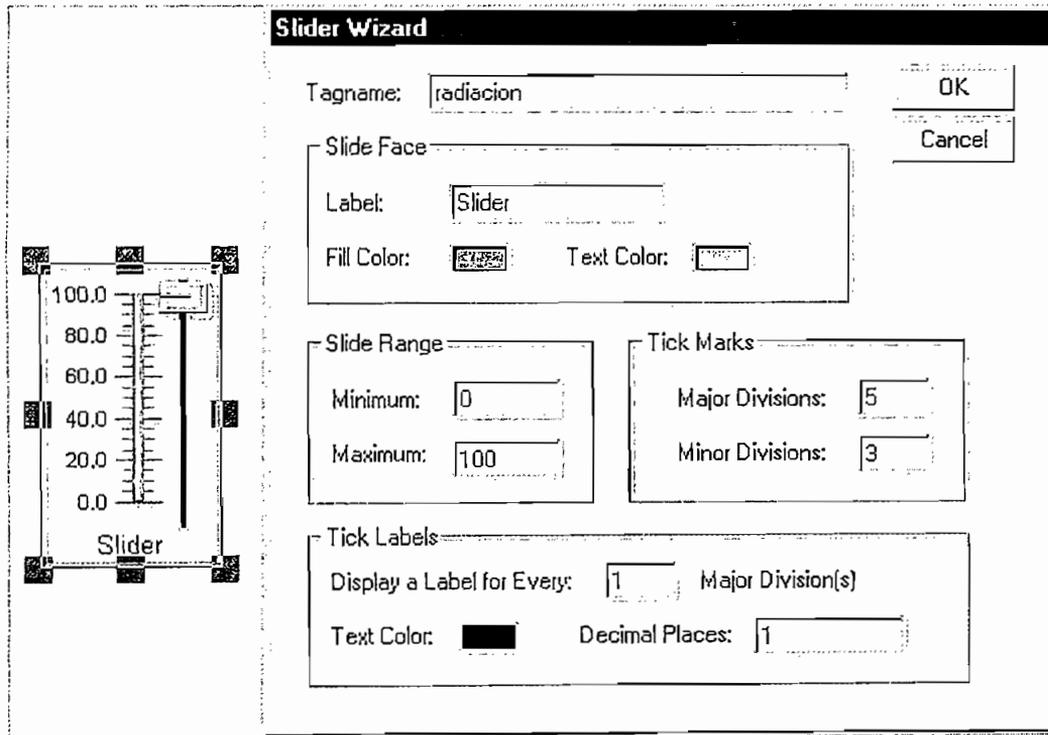


Figura 3.21 Propiedades del objeto a animar.

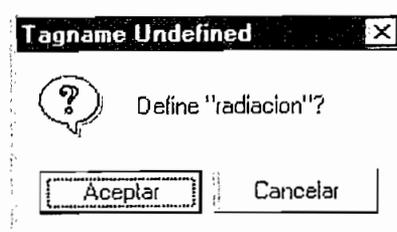


Figura 3.22 Confirmación de que se va a crear un nuevo tag.

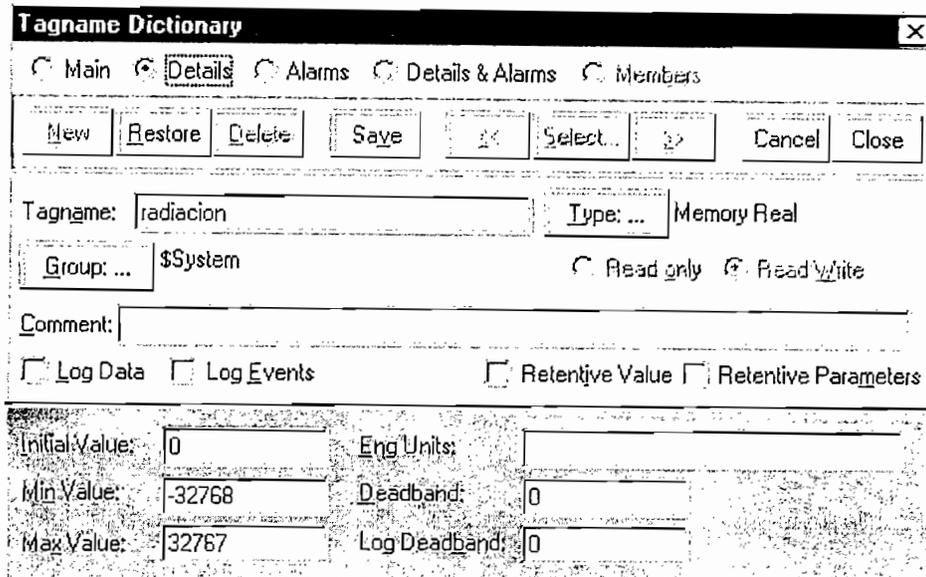


Figura 3.23 Ventana del Tagname Dictionary.

### TAGNAME DICTIONARY<sup>3</sup>

Es la base de datos de las etiquetas, se dice que es el corazón de Intouch. En tiempo de ejecución, la base de datos contiene el valor actual de todos los ítems. Cada variable debe tener asignado un nombre (tagname) y un tipo.

Los componentes son:

**Main, details, Alarms, Details & Alarms.** Muestran porciones específicas del Tagname Dictionary. Para cada tagname una caja de diálogo específica es usada para definirla. Las condiciones de alarma se definen en cuadros de diálogos similares.

**Tagname.** Ingresar el nombre de la etiqueta. Puede ser de 22 caracteres así:

A – Z, a – z, 0 – 9, j, @, -, ?, #, \$, \_, \, ° y &.

<sup>3</sup> REMACHE JUAN CARLOS, Control de Temperatura de un Calentador de Líquidos usando Intouch y un PLC, Proyecto de Titulación, EPN, Escuela de Ingeniería en Electrónica y Control, Quito, Febrero 2002, Pág. 56 - 59

**Type.** Muestra el tipo específico de cada etiqueta acorde con su uso. Así cuando el tag se utiliza para leer o escribir valores u otra ventana de aplicación como un I/O server se configurará como etiqueta de tipo I/O.

**Group.** Muestra la caja de diálogo del grupo de alarma donde se puede asignar la etiqueta a un determinado grupo de trabajo. Las alarmas representan avisos de las condiciones del proceso que pueden causar problemas y requieren una respuesta del operador.

**Log events.** Actualiza los cambios de valor de los datos al tagname y que son inicializados por el operador.

**Log data.** Sirve para anotar datos de las etiquetas a un archivo histórico durante el tiempo de ejecución siempre que su valor de unidad cambie más de lo especificado en el valor de banda muerta (Deadband).

**Retentive value.** Retiene el valor actual del tagname siempre que WindowViewer sea re-inicializado.

**Initial value.** Cuando se define un tagname como Memory Discrete el valor inicial puede ser ON u OFF.

**On msg, Off msg.** Se ingresa un mensaje en ON u OFF que es mostrado en el campo valor / límite de una ventana de alarma.

Para escoger el tipo de tagname, el programador deberá escoger en la pantalla "Tagname Dictionary" el ícono Type, y aparecerá una lista de tags a elegir. La Figura 3.24 muestra lo mencionado.

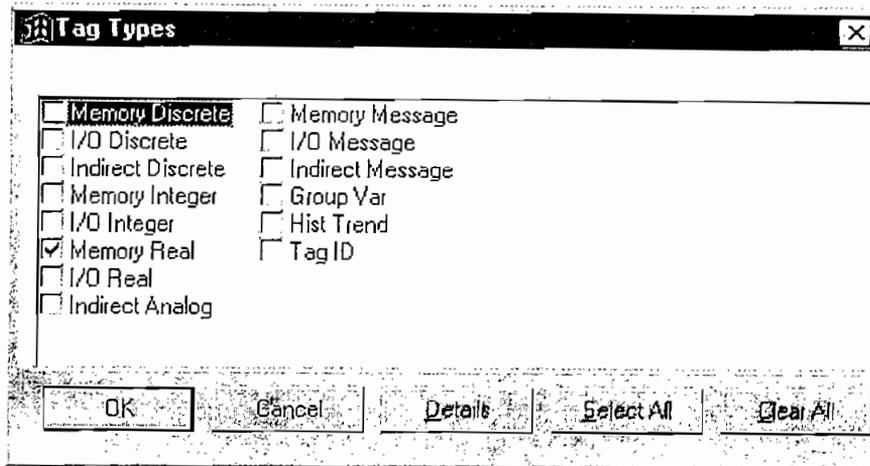


Figura 3.24 Tipos de tagnames.

### Tagnames de Entrada / Salida.

Este tipo de tagnames, son utilizados para enviar o recibir información desde o hacia Intouch a otras aplicaciones de Windows, incluyendo una amplia gama de PLC's. Los tagnames I/O son accésados además a través de los protocolos de comunicación DDE (Microsoft Dynamic Data Exchange) o Wonderware Suitelink.

Si se escoge un tipo I/O DISCRETE, aparecerá una pantalla correspondiente al Access Name (Figura 3.25), el mismo que permite agregar un nombre de acceso para la variable y que representa el path de los datos de I/O que se *pretenden* obtener. La Figura 3.26 da a conocer los requerimientos para la configuración de este tipo de tagname.

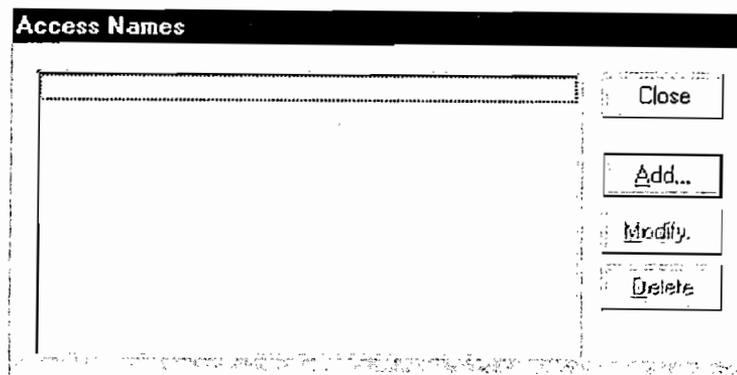


Figura 3.25 pantalla del Access Name, al seleccionar Add aparecerá la pantalla de requerimientos.

Figura 3. 26 Pantalla de requerimientos del Access Name.

**Node Name.** Especifica la ubicación del nodo para intercambiar información. Si se dispone de un solo nodo se puede dejar en blanco este espacio.

**Application Name.** Esta información permite conocer al Intouch el server de comunicación con otro dispositivo que se va a utilizar. Para el PLC SIMATIC S7200, el server utilizado es el S7200 PPI.

**Topic Name.** Es el nombre del archivo cargado.

**Which protocol to use.** Permite escoger el protocolo a utilizarse.

**Advise Server.** Permite escoger al usuario si quiere o no consultar todos los ítems, es decir si desea registrar solamente puntos en ventanas visibles y puntos que son de alarmas, anotaciones, tendencias o usadas por un script.

### 3.4.3.2 Pantallas Implementadas

Partiendo de la planta, que constituye la pantalla principal, se ha diseñado otras que ayudan a mejorar la visualización del proceso. A continuación se muestran las pantallas creadas de acuerdo al orden de aparición.

1. Presentación.
2. Ingreso de Usuarios.
  - Ayuda\_Usuarios
3. Planta correspondiente al usuario ingresado, y a partir de ésta se pueden acceder a pantallas como:
  - Gráficos
    - Histórico(%)
    - Histórico (Valor Real)
    - Real Time (%)
    - Real Time (valor Real)
    - Ayuda\_Gráficos.
      - Ayuda\_Históricos
      - Ayuda\_Real Time
  - Alarmas
    - Ayuda\_Alarmas

- Aviso\_Alarma
- Ayuda Principal
- Mensaje\_Error
- Salida

La Figura 3.27 muestra las pantallas implementadas que presenta Intouch.

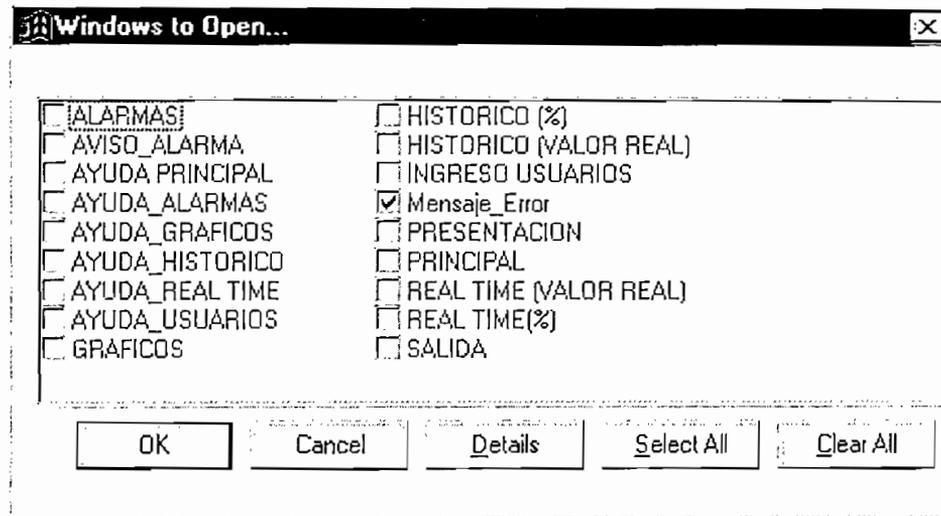


Figura 3.27 Pantallas implementadas en Intouch.

### 3.4.3.3 Presentación

En esta pantalla se presentan datos informativos a cerca del proyecto tales como: Nombre de la institución, Escuela, Título del Proyecto, Nombre del Autor, Director de Proyecto, Fecha. La Figura 3.28 se refiere a la presentación.



Figura 3.28 pantalla de Presentación.

Al pulsar el botón "Continuar", el programa sigue a la siguiente pantalla.

#### 3.4.3.4 Ingreso de Usuarios

En todo proceso industrial es necesario mantener criterios de seguridad, tomando en cuenta este concepto se ha implementado seguridades al proceso mediante la definición de "Tipos de usuarios". Para un determinado usuario ingresado, el sistema

verifica niveles de acceso, los mismos que van desde 0 para el nivel más bajo de acceso, hasta el nivel 9999 que corresponde al nivel de un administrador.

Se han definido tres tipos de usuarios: el Administrador, el cual presenta un nivel de acceso equivalente a 9999 por lo que es el único autorizado para realizar cambios en el sistema, agregar nuevos usuarios, cambiar claves, es decir que posee el control total. El Agrónomo, cuyo nivel de acceso es igual a 5000 y que está autorizado para visualizar el proceso, realizar acciones de control, registrar los datos. El operario, con un nivel de acceso igual a 3000, es un usuario restringido que solo puede visualizar el proceso.

Se puede ingresar a cada uno de los usuarios dando un click sobre el icono correspondiente a cada uno de ellos, posteriormente el programa solicitará la clave del usuario escogido. Si la clave es correcta aparecen iconos de "Continuar", que permiten acceder a la planta del usuario escogido. La Figura 3.29 muestra la pantalla Registro de Usuarios.

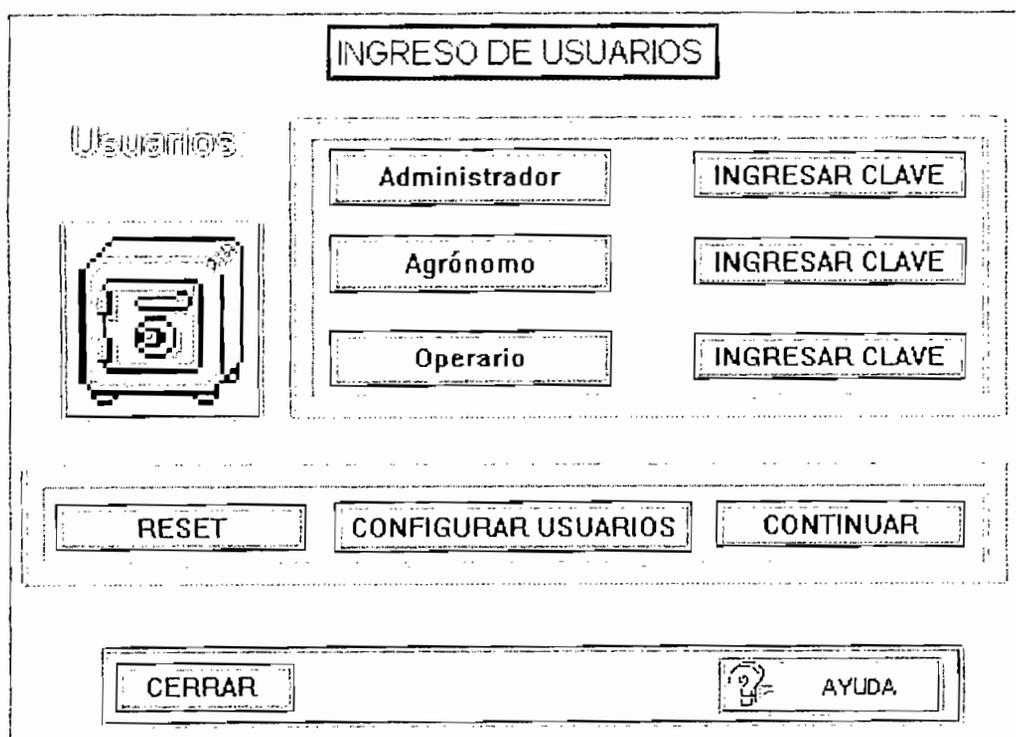


Figura 3.29 Pantalla de Ingreso de Usuarios

El botón RESET se utiliza para borrar la información introducida.

Si el usuario ingresado es el Administrador, se habilitará el botón CONFIGURAR USUARIOS, el cual permite cambiar claves, agregar nuevos usuarios, cambiar niveles de acceso.

### 3.4.3.5 Planta

Esta pantalla contiene todos los parámetros que conforman la planta como son íconos de acceso a otras pantallas, seteos para los valores de consigna, indicadores del modo de operación, valores actuales de la radiación, datos de operación del sistema. La Figura 3.30 presenta la pantalla correspondiente a la planta.

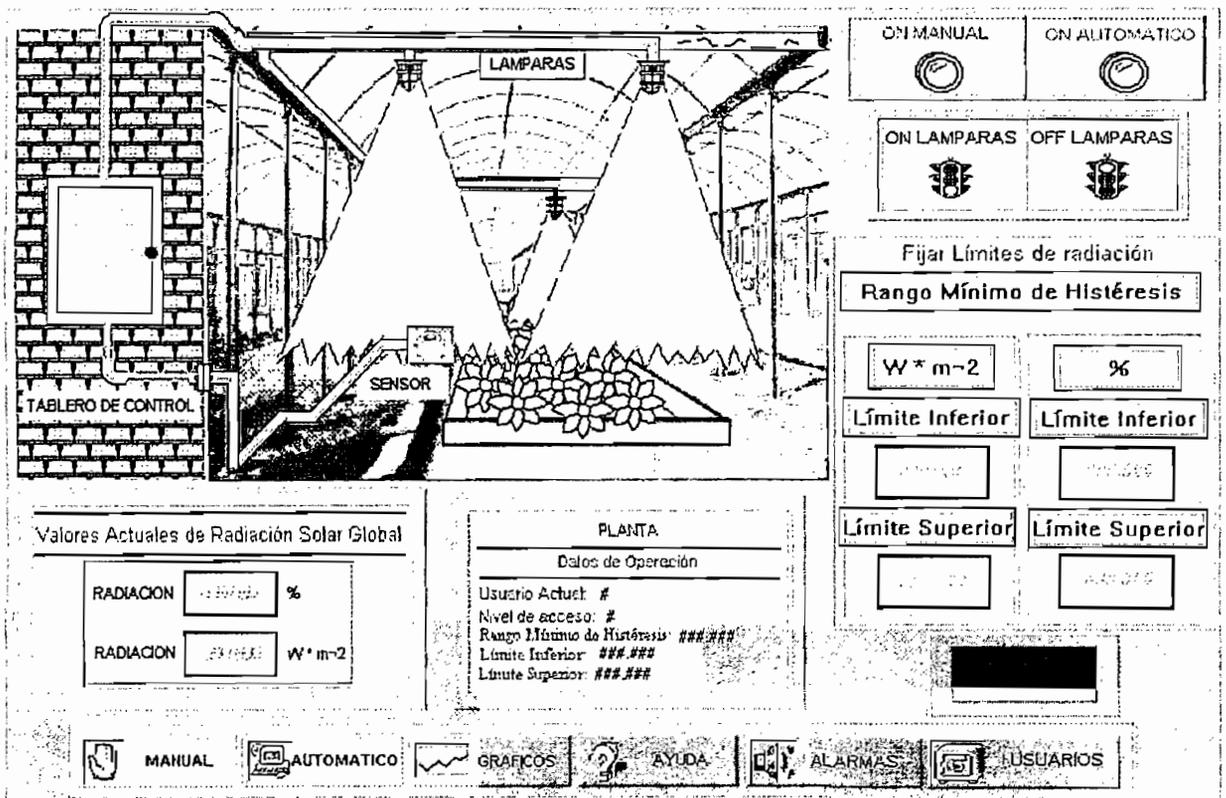


Figura 3.30 Planta con todos sus componentes.

A continuación se detalla cada uno de los componentes de la planta.

**Modo MANUAL de operación:** En este modo el usuario es el que realiza las acciones de control, puesto que independientemente de los valores de consigna, se puede encender o apagar las lámparas. Además de lo mencionado se habilitan opciones como gráficos, alarmas, ayudas, usuarios.

**Modo AUTOMÁTICO de Operación:** Cuando el usuario fija los límites inferior y superior, el sistema funcionará tomando en cuenta éstos valores, es decir que si la radiación solar global medida es menor al límite inferior, las lámparas se encenderán caso contrario, es decir, si la radiación es mayor al límite superior las lámparas se apagarán. Como en el caso anterior, el usuario también podrá tener acceso a gráficos, alarmas, ayudas, usuarios.

Cabe mencionar que para los dos modos de operación, Intouch siempre va a registrar los datos de radiación en sus históricos y de esta forma el usuario tendrá la posibilidad de acceder a ellos cuando lo necesite. El registro lo obtendrá de semanas, días, horas, minutos.

**Gráficos:** El usuario puede acceder a dos tipos de gráficos construidos con los datos de radiación solar:

- a) El histórico, que representa el histórico de los datos de radiación solar en un intervalo de tiempo que es escogido por el operador.
- b) El de Tiempo Real, se trata de una representación gráfica en tiempo real de múltiples variables.

Los gráficos disponibles se encuentran tanto en porcentaje como en Watt / m<sup>2</sup>.

**Ayuda:** Despliega una pantalla que da información acerca de los modos de operación y de los valores de consigna.

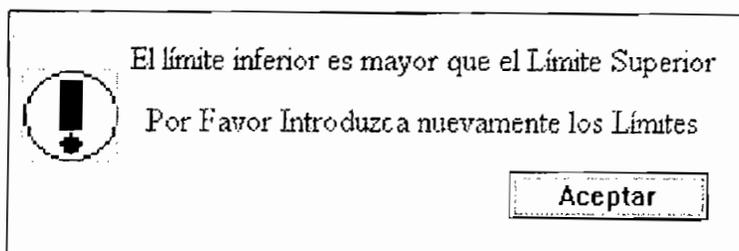


Figura 3.31 Pantalla de aviso de error en los límites

### 3.4.3.7 Pantalla de Gráficos

Muestra una lista de los gráficos disponibles en la aplicación, entre éstos se tiene: Radiación en Tiempo Real, tanto en porcentaje como en Watt / m<sup>2</sup>, Radiación Histórico, tanto en porcentaje como en Watt / m<sup>2</sup>. El icono "Ayuda" despliega una pantalla que provee de información a cerca las clases de gráficos. La Figura 3.32 se refiere a esta pantalla.

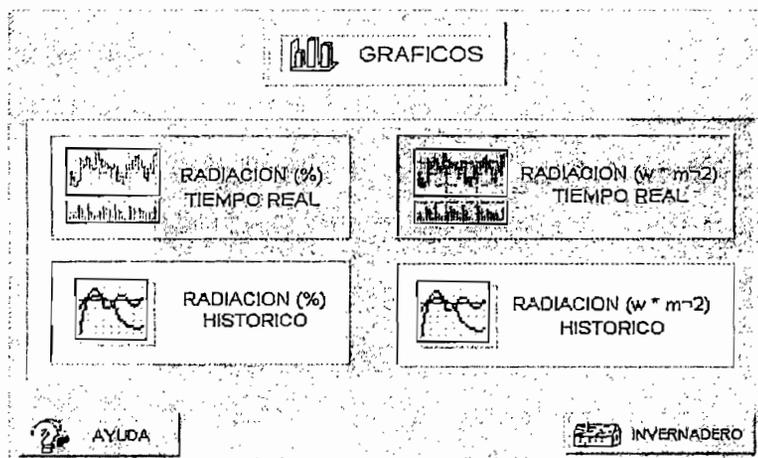


Figura 3.32 Pantalla de gráficos.

Si el valor de consigna escogido es en porcentaje, los iconos habilitados serán solo los que grafican el valor de radiación en porcentaje, lo mismo ocurrirá si el valor de consigna escogido es en Watt / m<sup>2</sup>.

### 3.4.3.8 Alarmas

Cuando el valor de radiación baja del valor de consigna, Intouch registra estos eventos, por lo que al elegir este botón el usuario puede observar las alarmas generadas. La Figura 3.33 muestra la pantalla de alarmas.

MM/DD	HH:MM:SS	EVT	Type	Pri	Name	GroupName	Value/Limit
05/26	15:35:20	RTN	LO	1	rad-porcentaje	\$System	60.7477/ 60
05/26	15:35:23	ALM	LO	1	rad-porcentaje	\$System	59.8131/ 60
05/26	15:35:26	RTN	LO	1	rad-porcentaje	\$System	63.5514/ 60
05/26	15:35:26	ALM	LO	1	rad-porcentaje	\$System	59.8131/ 60
05/26	15:35:32	RTN	LO	1	rad-real	\$System	1271.03/ 1200
05/26	15:35:33	ALM	LO	1	rad-real	\$System	1196.26/ 1200
05/26	15:35:34	RTN	LO	1	rad-real	\$System	1233.64/ 1200
05/26	15:35:37	ALM	LO	1	rad-real	\$System	1196.26/ 1200
05/26	15:35:45	RTN	LO	1	rad-real	\$System	1214.95/ 1200
05/26	15:35:46	ALM	LO	1	rad-real	\$System	1196.26/ 1200

anterior

siguiente

AYUDA

INVERNADERO

Figura 3.33 Pantalla de alarmas.

### 3.4.3.9 Aviso\_Alarma

Al producirse una alarma, el sistema muestra una advertencia para que el usuario sepa del acontecimiento. Esta pantalla da la opción de cerrar el aviso o de observar las alarmas generadas abriendo la pantalla alarmas. La Figura 3.34 muestra ésta pantalla.



Figura 3.34 Pantalla de Aviso de Alarmas.

#### 3.4.3.10 Salida

Esta pantalla se presenta cuando el usuario quiere salir de la aplicación, solicitando confirmación de la salida. Cuando el operador ingresa en la pantalla "Registro Usuarios" se presenta el botón "CERRAR" el mismo que habilita la pantalla "Salida". Si el operador escoge la opción de NO salir, la pantalla de "Salida" desaparece y permanece habilitada la pantalla "Registro Usuarios". La Figura 3.35 presenta la pantalla de Salida.

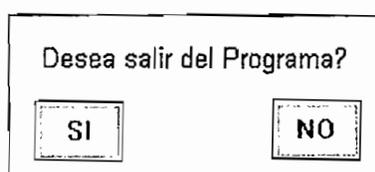


Figura 3.35 Pantalla de Salida de la Aplicación.

A continuación se presentan las pantallas de las ayudas implementadas en el programa.

## ALARMAS



Cuando el valor de radiación sube o baja con respecto al valor de consigna, se producen alarmas, las mismas que se indican sobre la pantalla "ALARMAS". En esta pantalla se detallan aspectos como:

- Fecha: MM/DD
- Hora: HH/MM/SS
- Tipo: LOLOW, LOW, HIHI, HI
- Prioridad: esta entre 0 y 999
- Nombre de la variable que produce la alarma
- Valor de la variable
- Límite fijado por el operador.

MM/DD	HH:MM:SS	EVT	Type	Pri	Name	GroupName	Value/Limit
05/14	09:17:26	RTN	LO	1	rad-porcentaje	\$System	60.7477/ 60
05/14	09:17:28	ALM	LO	1	rad-porcentaje	\$System	59.8131/ 60
05/14	09:17:29	RTN	LO	1	rad-porcentaje	\$System	60.7477/ 60
05/14	09:17:30	ALM	LO	1	rad-porcentaje	\$System	59.8131/ 60

Los valores que representan una alarma reconocida por el operador se muestran en rojo. Los valores desplegados con tono azulado están dentro del valor normal de la variable.



Permite desplazarse por el panel de alarmas hacia la página anterior o la siguiente página

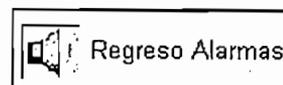
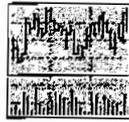


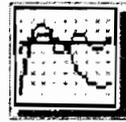
Figura 3.37 Ayuda para Alarmas.

Intouch proporciona dos tipos de gráficos:

REAL TIME



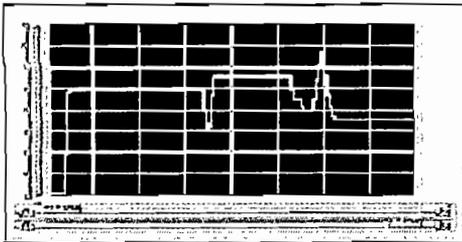
HISTORICO



Regreso Gráficos

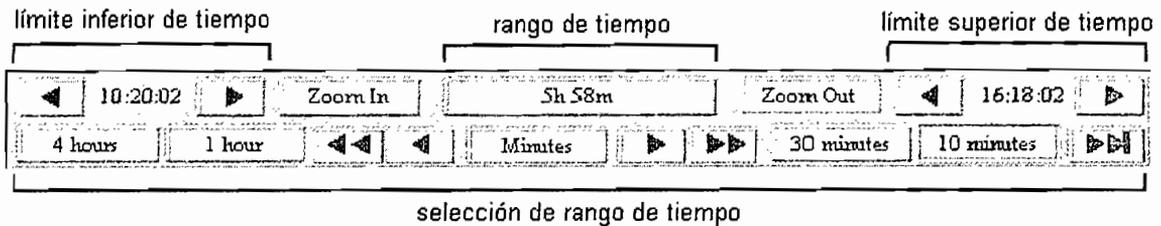
Figura 3.38 Ayuda Gráficos

HISTORICO



El gráfico muestra el histórico de los datos de Radiación Solar Global, en un intervalo de tiempo escogido por el usuario, de modo que se tiene un registro de datos por segundos, minutos, horas, días de la variable.

PANEL DE CONTROL DE TENDENCIAS



REGISTRO EN HOJA ELECTRONICA



Salva el rango de datos escogido por el usuario, desde el límite inferior de tiempo hasta el superior, en formato de hoja electrónica.

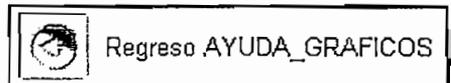
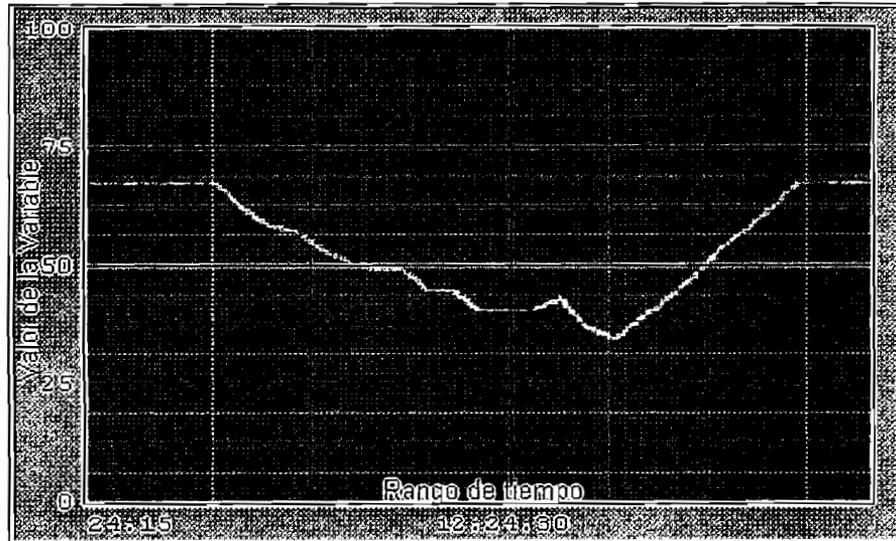


Figura 3.39 Ayuda para gráficos Históricos.

## REAL TIME



Se trata de un gráfico de Tendencias en Tiempo Real, que es una representación gráfica en tiempo real de múltiples variables. En este tipo de gráfico se pueden mostrar hasta cuatro plumas (gráficos de variables).

Cada pluma representa un tagname y se le asigna un color específico.

- Nivel de Radiación
- Valor de Consigna

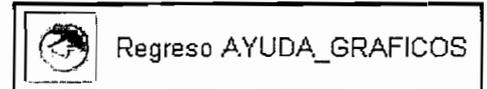


Figura 3.40 Ayuda para gráficos Real Time

## USUARIOS

### Administrador

Cuando se da un click sobre éste botón, el programa solicitará la correspondiente clave. Si la clave es correcta, se habilitará el ícono "CONTINUAR", el mismo que le permitirá acceder a la pantalla del invernadero sin restricciones puesto que se trata de un usuario con un nivel de acceso alto.

### Agrónomo

Si el usuario escogido es "Agrónomo", ocurrirá lo mismo que el caso anterior, con la diferencia de que el sistema impondrá ciertas restricciones definidas por el Administrador.

### Operario

La forma de ingresar es la misma que en los casos anteriores, pero éste usuario tiene muy restringido el uso del sistema y es así que solo puede observar el mismo

### CONFIGURAR USUARIOS

Si el usuario ingresado es el administrador, se tiene la posibilidad de configurar nuevos usuarios y passwords para los mencionados usuarios, esto se logra dando un click sobre el ícono "CONFIGURAR USUARIOS". En esta etapa el programa solicitará el nombre del nuevo usuario su nivel de acceso y su nuevo password.

### CERRAR

El ícono "CERRAR" permite terminar con la aplicación en uso, siempre y cuando el usuario lo acepte y no sea el Operario.

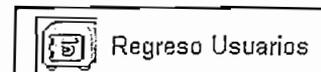


Figura 3.41 Ayuda de Ingreso para Usuarios.

### 3.4.3.10 Configuración del server S7200 PPI.

Para la comunicación entre el Intouch y el PLC es necesario utilizar un server de entradas / salidas, con el objetivo de que los datos enviados por el PLC sean entendidos por Intouch y viceversa. Para el efecto es imprescindible instalar previamente en el computador dicho server. El server escogido es el denominado S7 200PPI, en versión de prueba y cuya utilización se limita simplemente a tener abierta y minimizada su aplicación, no es necesario configurar ningún otro parámetro de comunicación, ni peor aún configurar puertos, la única información que Intouch requiere es la Application Name y Topic Name, como se explicó en la parte correspondiente a los Tagnames de Entrada / Salida.

Los datos mínimos que se debe introducir son los que se presentan en la Figura 3.42

The screenshot shows a dialog box titled "Add Access Name". It contains the following fields and options:

- Access Name:** A text box containing "PLC".
- Node Name:** An empty text box.
- Application Name:** A text box containing "S7200PPI".
- Topic Name:** A text box containing "S7200DEMO".
- Which protocol to use:** Two radio buttons: "DDE" (selected) and "SuiteLink".
- When to advise server:** Two radio buttons: "Advise all items" and "Advise only active items" (selected).
- Buttons:** "OK" and "Cancel" buttons are located on the right side of the dialog.

Figura 3.42 Datos del Access Name para comunicación entre Intouch y el PLC.

El inconveniente de utilizar el S7 200PPI, radica en él echo de que el puerto de comunicación puede utilizar únicamente un programa a la vez, es decir que si el usuario se encuentra utilizando Intouch, no tiene la posibilidad de utilizar al mismo

tiempo el Step 7, pero como el programa residente ya está grabado, el PLC trabajará sin ningún inconveniente.

Una vez terminado con el desarrollo del HMI conjuntamente con la programación del PLC se ha concluido con el diseño del Software del sistema. A continuación se procede a ejecutar la etapa de pruebas y resultados. El capítulo siguiente se encaminará a evaluar el comportamiento del sistema implementado y verificar si se ha cumplido con el funcionamiento planteado.

## **CAPITULO 4**

### **PRUEBAS Y RESULTADOS**

## CAPITULO 4

### PRUEBAS Y RESULTADOS

#### 4.1 EVALUACION DEL HMI IMPLEMENTADO

Uno de los requerimientos importantes de la interfaz implementada es que debe ser amigable con el usuario. Para verificar lo mencionado anteriormente se describen los requisitos cumplidos en el presente proyecto.

##### 4.1.2 REQUERIMIENTOS DE LA HMI CUMPLIDOS

Con las diferentes pruebas aplicadas a la HMI se observa que cumple con las siguientes características:

- ✓ *Visualización real del proceso.* Ya que el entorno gráfico elaborado es muy semejante a la planta original con todos los detalles que ocurren dentro del invernadero, incluso aquellos cuando el sistema de control actúa.
- ✓ *Facilidad para utilizar la aplicación.* La mayoría de personas que han utilizado un PC están acostumbradas a manejar aplicaciones en las cuales se despliegan ventanas, menús, ayudas, iconos de acceso, etc. por ello la HMI implementada esta concebida tomando en cuenta éstos aspectos muy relevantes de maniobrabilidad. De esta manera el usuario y operario común cuenta con un ambiente de trabajo muy conocido para él.
- ✓ *Seguridades del sistema.* Como en todo proceso industrial es conveniente contar con niveles de seguridad al momento de ingresar al sistema, para ello la HMI

permite manejar tres tipos de usuarios con distintos niveles de acceso. Esto posibilita a que solo la persona autorizada pueda realizar cambios en el sistema, evitando que personal no autorizado altere la configuración original.

- ✓ *Confiabilidad del sistema.* La utilización conjunta del PC y PLC permite asegurar una operación ininterrumpida del proceso, ya que al tener una comunicación continua entre ellos el usuario es capaz de verificar si el proceso se encuentra dentro de los parámetros normales o si el mismo ha salido de ellos, con esto se pueden tomar acciones correctivas. Debido a que el PLC es un dispositivo muy confiable se le han delegado las acciones de control; de esta forma, si por algún motivo el PC deja de operar, el sistema puede funcionar normalmente.
- ✓ *Registro continuo de la variable medida.* Los datos obtenidos del proceso son almacenados continuamente dentro del INTOUCH con la utilización de los Históricos esto permite graficar y registrar la variable medida en minutos, horas, días, etc., además de poderlos exportar a una hoja de cálculo para ser analizados.
- ✓ *Valores de consigna de la variable medida adecuados.* Ya que permite fijar los valores de consigna que el usuario crea más convenientes dentro de los parámetros lógicos permisibles de radiación y así lograr que las condiciones del invernadero sean óptimas.

## **4.2 COMPORTAMIENTO DE LA VARIABLE CONTROLADA**

La variable a controlar es la radiación solar global la misma que es sensada a través del Piranómetro CM3. Su comportamiento debería ser estudiado y calibrado en base a un sensor patrón o valores normalizados en forma de tablas, desafortunadamente se carece de este tipo de información para nuestra realidad geográfica; lo único que se puede hacer es confiar en las características técnicas del sensor a utilizarse en

#### 4.2.2 RESULTADOS OBTENIDOS

Los datos obtenidos no representan valores reales puesto que se carece del sensor. Con el propósito de validar la información recabada se ha utilizado tablas con valores de radiación promedio de países que cuentan con la misma.

La Tabla 4.1 muestra valores de radiación solar global promedio en un día de España, en la misma se observa que la radiación se encuentra entre 151 y 343 Watt / m<sup>2</sup> valores que dependen del número de horas de sol. Es así que cuando se tiene la mayor cantidad de horas sol el valor de radiación solar también es superior.

Fecha	V Km/h	DV	Vx Km/h	T °C	Tn °C	Tx °C	Horas frío	HR %	Rad w/m2	Horas sol	P mm	ETo mm
11-05-2002	3	SW	18	14.6	9.9	21.3	0	63	151	10.9	5.4	2.6
12-05-2002	5	SSW	22	17.5	9	25.4	0	65	329	13	0	6
13-05-2002	5	S	19	20.2	11.6	27.8	0	57	333	13.1	0	5.3
14-05-2002	6	ESE	19	18.6	13.7	26.9	0	72	329	13.1	0	5.3
15-05-2002	4	ENE	18	17.5	12.5	23.1	0	82	300	12.6	0.2	4.3
16-05-2002	5	NE	19	17.8	12.2	22.7	0	81	307	12.5	0	4.3
17-05-2002	4	W	19	19.4	12.8	24.8	0	64	274	13.1	0.2	4.4
18-05-2002	5	WSW	23	20.3	12.7	27.3	0	49	340	13.3	0	5.7
19-05-2002	5	SE	21	18.5	10.6	25.2	0	63	343	13.3	0	5.2
20-05-2002	6	SSE	24	19.1	11.7	26	0	62	332	13.2	0	5.4

Tabla 4.1 Datos de Radiación solar en la localidad de Algemesi – España

Donde:

V: Velocidad media del viento

DV: Dirección media del viento

Vx: Velocidad máxima del viento.

T, Tn, Tx: Temperatura media, mínima y máxima del aire.

Horas frío: # de horas por debajo de 7 °C.

HR: Humedad relativa media del aire.

Rad: Radiación solar global promedio del día.

P: Precipitación total.

ETo: Evapotranspiración de referencia, calculada mediante el método de Penman-Monteith, salvo en el caso de incidencias con el anemómetro donde se utiliza el método de Hargreaves.

Las Tablas 4.2 y 4.3 muestran datos de radiación solar para otras localidades de España y en las mismas se observa lo mismo que se indicó anteriormente, es decir que mientras mayor es el número de horas sol mayor es el valor de radiación solar.

Datos Agroclimáticos Diarios Benavites												
Fecha	V km/h	DV	Vx Km/h	T °C	Tn °C	Tx °C	Horas frío	HR %	Rad w/m2	Horas sol	P mm	ETo mm
11-05-2002	3	SW	19	14.4	10.6	21	0	84	159	10.2	22.2	2.5
12-05-2002	4	SSW	18	16.3	10	22.3	0	88	312	13.1	0	4.3
13-05-2002	4	SE	17	17.6	8	26.8	0	70	309	13	0	4.6
14-05-2002	3	ENE	16	16.4	9.1	21.5	0	82	305	12.9	0	4
15-05-2002	3	ENE	15	16.3	9.4	22	0	82	277	12.6	0.2	3.8
16-05-2002	3	ENE	13	16.9	10	22.7	0	77	286	12.4	0	4
17-05-2002	3	ENE	14	17.6	11.4	22.8	0	76	249	12.4	0	3.7
18-05-2002	4	WSW	19	19.2	11.6	27	0	55	316	13.3	0	5
19-05-2002	3	SE	15	17.4	10	22.4	0	84	315	13.2	0	4.4
20-05-2002	3	SE	14	17.6	10.2	24.8	0	66	310	13.2	0	4.4

Tabla 4.2 Datos de radiación solar para la localidad de Benavites – España

Datos Agroclimáticos Diarios - Benifaio

Fecha	V, Km/h	DV	Vx, Km/h	T, °C	Tn, °C	Tx, °C	Horas:frío	HR, %	Rad w/m2	Horas:sol	P, mm	ETo, mm
11-05-2002	4	WSW	18	14.9	10.8	20.5	0	79	149	11.8	0.6	2.7
12-05-2002	5	SSW	20	17.4	9.4	25.2	0	64	318	13.1	0	4.9
13-05-2002	4	SSW	16	20.1	10.2	28.1	0	57	332	13.1	0	5.2
14-05-2002	5	N	17	19.2	13.5	25.9	0	66	329	13.1	0	5.1
15-05-2002	4	NE	14	17.5	11.5	23	0	80	303	12.4	0	4.2
16-05-2002	4	NNE	14	17.9	12.2	22.8	0	78	308	12.5	0	4.3
17-05-2002	4	N	24	19.5	12.8	24.2	0	60	275	12.7	0	4.4
18-05-2002	6	NW	19	20.9	16.1	26.3	0	44	339	13.3	0	5.8
19-05-2002	4	ESE	17	18.8	10.3	24.6	0	60	343	13.3	0	5.1
20-05-2002	5	SE	18	19	11.3	25.3	0	62	341	13.2	0	5.2

Tabla 4.3 Datos de radiación solar de la localidad de Benifaio – España

Como se puede apreciar, el máximo valor de radiación solar global es de 343 Watt / m<sup>2</sup> tomando en cuenta la ubicación geográfica de esta parte del mundo se decidió tomar, para las pruebas, valores superiores de radiación solar puesto que nuestro país al encontrarse en la zona ecuatorial recibe mayor cantidad de radiación. Los valores escogidos son de 700, 900 y 1200 Watt / m<sup>2</sup> que representan promedios en el día.

Para la primera prueba se toma como valor de consigna 45 % (que equivale a 900 Watt / m<sup>2</sup>). La variación de la radiación solar graficada constituye una simulación de la real para valores comprendidos entre 0 y 100 % de radiación y su objetivo es la verificación del funcionamiento apropiado del control el mismo que se observa con la ayuda de una forma de onda cuadrada, la misma que al disminuir el valor de radiación por debajo del valor de consigna adopta un valor mayor a cero que equivale al encendido de las lamparas, en tanto que si la radiación se mantiene sobre el valor de consigna la onda cuadrada toma un valor de cero y que equivale al apagado de las lámparas. La Figura 4.1 muestra lo mencionado.

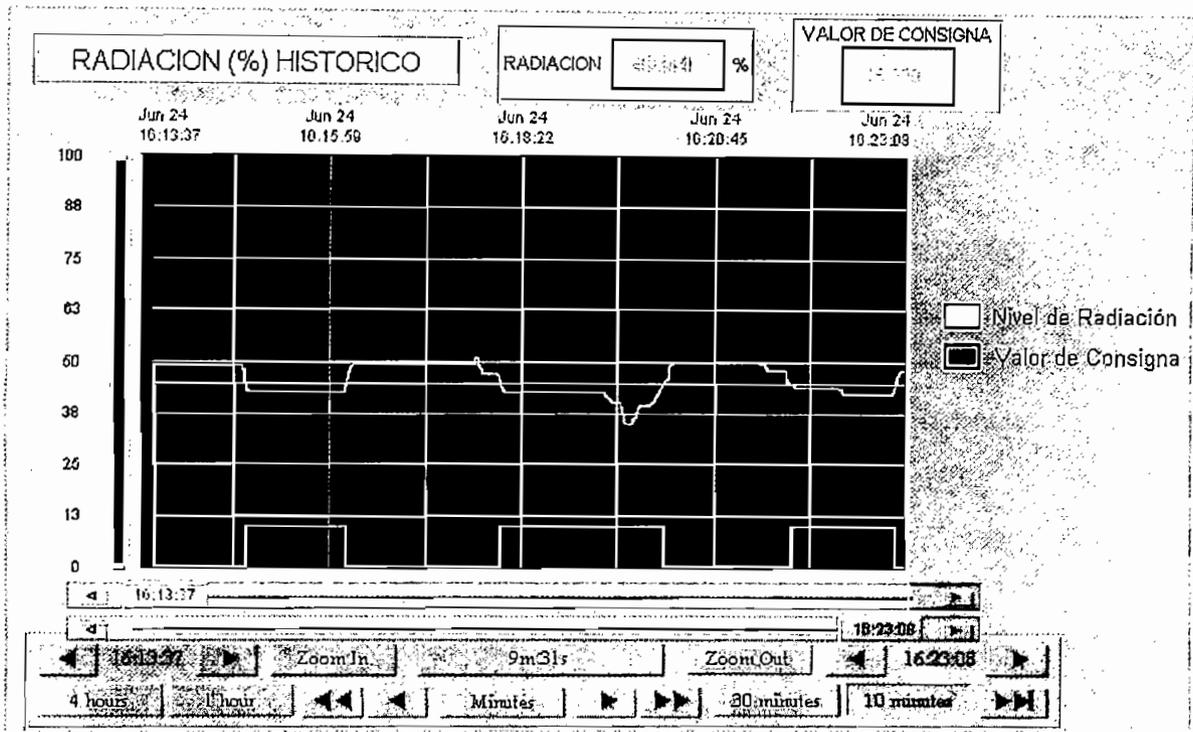


Figura 4.1 Variación de la Radiación Solar para un valor de consigna de 45 %

Como la HMI está diseñada para generar alarmas al momento de que la radiación solar baja del valor de consigna es necesario constatar lo mencionado, para ello se muestra la Figura 4.2.

MM/DD	HH:MM:SS	EVT	Type	Pri	Name	GroupName	Value/Limit
06/24	16:18:06	ALM	LO	1	rad-real	\$System	898.874/ 900
06/24	16:20:08	RTN	LO	1	rad-porcentaje	\$System	45.0063/ 45
06/24	16:20:08	RTN	LO	1	rad-real	\$System	900.125/ 900
06/24	16:20:08	EVT	SYS	999	\$NewAlarm	\$System	OFF/ ON
06/24	16:21:43	ALM	LO	1	rad-porcentaje	\$System	44.987/ 45
06/24	16:21:43	EVT	SYS	999	\$NewAlarm	\$System	ON/ OFF
06/24	16:21:43	ALM	LO	1	rad-real	\$System	899.74/ 900
06/24	16:23:01	RTN	LO	1	rad-porcentaje	\$System	45.1891/ 45
06/24	16:23:01	RTN	LO	1	rad-real	\$System	903.781/ 900
06/24	16:23:01	EVT	SYS	999	\$NewAlarm	\$System	OFF/ ON

Figura 4.2 Alarmas generadas por el INTOUCH para un valor de consigna de 45%

Como ejemplo se mencionada una alarma generada a la 16:18 H00 cuando el valor de radiación baja del valor de consigna, por consiguiente las lámparas se encienden. En el caso contrario, es decir, cuando la radiación sube por encima del valor de consigna, INTOUCH registra el evento, ello ocurre a las 16:20 H00 y las lámparas se apagan.

Como se mencionó anteriormente, los datos obtenidos de radiación solar global en el histórico pueden ser trasladados a una hoja electrónica para posteriores análisis que la persona encargada del invernadero crea conveniente. La Figura 4.3 muestra los datos trasladados a EXCEL tomados desde las 16:13 H00 hasta las 16:23 H00.

	A	B	C	D	E
1	\$Date	\$Time	RAD-PORCE	LIMITE-INF%	PRUEBA
2	24/06/02	16:13:37			
3	24/06/02	16:13:56	49.55258	45	0
4	24/06/02	16:14:15	49.54777	45	0
5	24/06/02	16:14:34	49.54296	45	0
6	24/06/02	16:14:53	49.53815	45	0
7	24/06/02	16:15:12	42.67295	45	1
8	24/06/02	16:15:31	42.66333	45	1
9	24/06/02	16:15:50	42.66814	45	1
10	24/06/02	16:16:09	42.67295	45	1
11	24/06/02	16:16:28	49.73059	45	0
12	24/06/02	16:16:47	49.72097	45	0
13	24/06/02	16:17:06	49.73059	45	0
14	24/06/02	16:17:25	49.73059	45	0
15	24/06/02	16:17:44	49.7354	45	0
16	24/06/02	16:18:03	47.16155	45	0
17	24/06/02	16:18:22	42.71144	45	1
18	24/06/02	16:18:41	42.72106	45	1
19	24/06/02	16:19:00	42.72587	45	1
20	24/06/02	16:19:19	42.71144	45	1
21	24/06/02	16:19:38	36.27923	45	1
22	24/06/02	16:19:57	39.5699	45	1
23	24/06/02	16:20:16	50	45	0
24	24/06/02	16:20:35	50.00962	45	0
25	24/06/02	16:20:54	50.01443	45	0
26	24/06/02	16:21:13	50.02405	45	0
27	24/06/02	16:21:32	48.05638	45	0
28	24/06/02	16:21:51	43.94304	45	1
29	24/06/02	16:22:10	43.94304	45	1
30	24/06/02	16:22:29	42.28327	45	1
31	24/06/02	16:22:48	42.32657	45	1
32	24/06/02	16:23:07	48.35947	45	0

Figura 4.3 Datos de Radiación trasladados a EXCEL para un valor de consigna de 45%

Las mismas pruebas fueron realizadas pero para valores comprendidos entre 0 y 2000 Watt / m<sup>2</sup> y con un valor de consigna igual a 700 Watt / m<sup>2</sup> observando el mismo comportamiento mencionado anteriormente. A continuación se muestran las Figuras 4.4, 4.5 y 4.6 que corresponden a lo dicho.

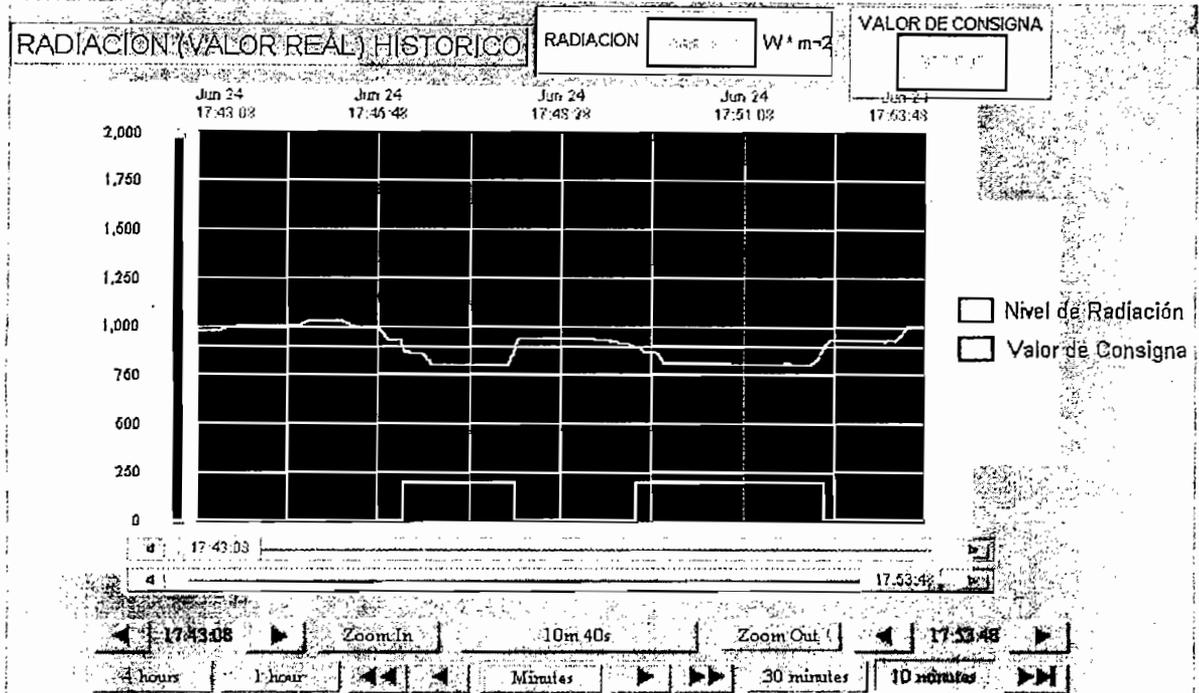


Figura 4.4 Variación de la Radiación para un valor de consigna de 700 Watt / m<sup>2</sup>

MM/DD	HH:MM:SS	EVT	Type	Pri	Name	GroupName	Value/Limit
06/24	17:46:08	ALM	LO	1	rad-real	\$System	894.352/ 900
06/24	17:47:48	RTN	LO	1	rad-porcentaje	\$System	45.1698/ 45
06/24	17:47:48	RTN	LO	1	rad-real	\$System	903.397/ 900
06/24	17:47:48	EVT	SYS	999	\$NewAlarm	\$System	OFF/ ON
06/24	17:49:35	ALM	LO	1	rad-porcentaje	\$System	44.9726/ 45
06/24	17:49:35	EVT	SYS	999	\$NewAlarm	\$System	ON/ OFF
06/24	17:49:35	ALM	LO	1	rad-real	\$System	899.452/ 900
06/24	17:52:20	RTN	LO	1	rad-porcentaje	\$System	45.0977/ 45
06/24	17:52:20	RTN	LO	1	rad-real	\$System	901.953/ 900
06/24	17:52:20	EVT	SYS	999	\$NewAlarm	\$System	OFF/ ON

Figura 4.5 Alarmas Generadas por INTOUCH para un valor de consigna de 700 Watt/m<sup>2</sup>

	A	B	C	D	E
1	\$Date	\$Time	RAD-REAL	LIMITE-INF	PRUEBA
2	24/06/02	17:43:08	1002.117	900	0
3	24/06/02	17:43:40	997.787	900	0
4	24/06/02	17:44:12	1011.258	900	0
5	24/06/02	17:44:44	1024.247	900	0
6	24/06/02	17:45:16	1031.079	900	0
7	24/06/02	17:45:48	990.4744	900	0
8	24/06/02	17:46:20	868.1805	900	1
9	24/06/02	17:46:52	802.4632	900	1
10	24/06/02	17:47:24	802.8481	900	1
11	24/06/02	17:47:56	938.805	900	0
12	24/06/02	17:48:28	938.9012	900	0
13	24/06/02	17:49:00	935.1487	900	0
14	24/06/02	17:49:32	902.2419	900	0
15	24/06/02	17:50:04	813.7208	900	1
16	24/06/02	17:50:36	813.817	900	1
17	24/06/02	17:51:08	809.1023	900	1
18	24/06/02	17:51:40	809.9682	900	1
19	24/06/02	17:52:12	822.3804	900	1
20	24/06/02	17:52:44	932.9356	900	0
21	24/06/02	17:53:16	928.5096	900	0
22	24/06/02	17:53:48	1010.199	900	0

Figura 4.6 Datos de Radiación trasladados a EXCEL para un valor de consigna de 700 Watt / m<sup>2</sup>

Cabe mencionar que la radiación solar es un parámetro que no varía bruscamente cuando el cielo se halla completamente despejado comparando con el cielo cuando se encuentra semi - despejado con la presencia de nubes; la variación de la radiación solar no es muy significativa.

En las estaciones meteorológicas a nivel mundial se ocupan tiempos de muestreo que están dentro de 20 a 50 mseg. con el objetivo de recabar información muy precisa de cómo varía la radiación solar en un determinado período de tiempo. Siguiendo este concepto se ha elegido los 20 mseg. como el tiempo de muestreo para el desarrollo del presente proyecto.

Bajo el supuesto que la radiación solar sea un parámetro que varía extremadamente rápido, es necesario verificar si el sistema de control implementado actúa acorde a la variación experimentada. Para esto se simula condiciones extremas de cambios de radiación y se observa si el control actúa a la misma velocidad. La Figura 4.7 presenta una variación muy elevada de la radiación y en ella es posible observar que el control tanto de encendido como de apagado de las lámparas responde favorablemente a tales cambios.

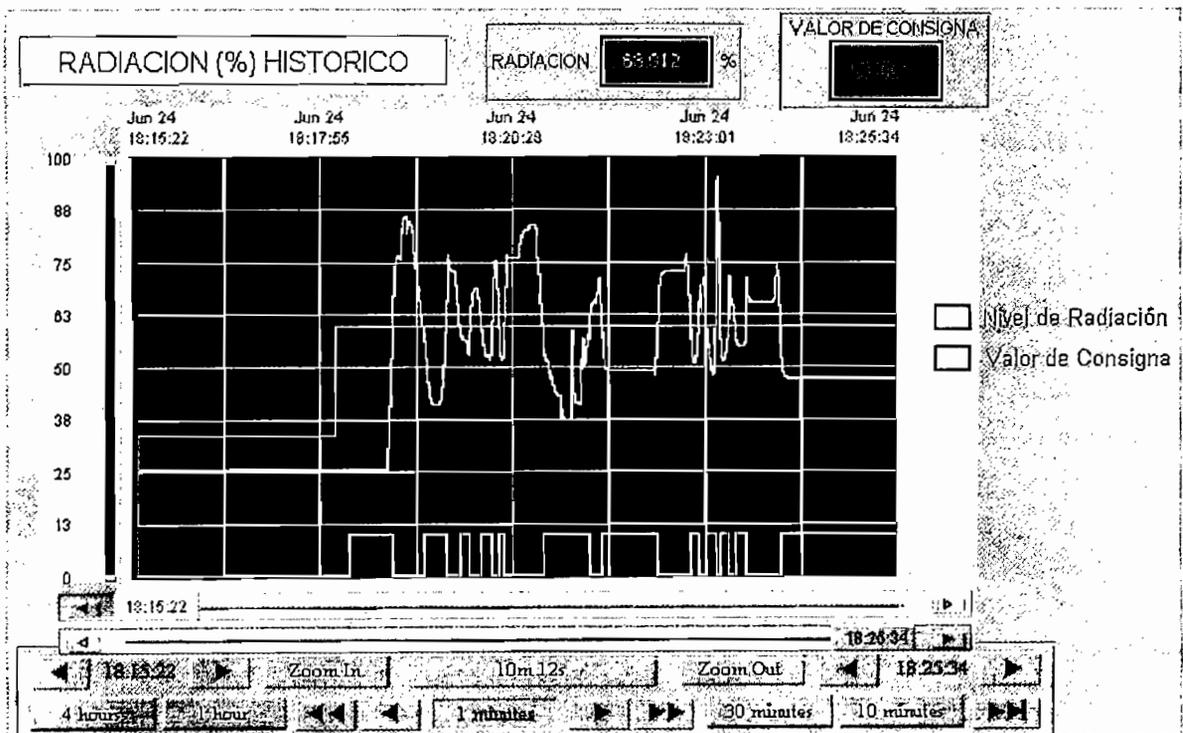


Figura 4.7 Respuesta del control implementado a variaciones bruscas de Radiación Solar

Como se mencionó, la forma de onda cuadrada representa el encendido de las lámparas, cuando se tiene un valor mayor que cero, y apagado de las mismas, cuando se tiene un valor igual a cero.

## **CAPITULO 5**

### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

- ◆ Ya que la variable medida no presenta una característica muy discontinua, el control ON / OFF con lazo de histéresis implementado es el ideal no solo por su sencillez y por su costo relativamente económico, sino que además responde efectivamente a las acciones que demanda el proceso.
- ◆ Los niveles de iluminación artificial requeridos para el control dentro de un invernadero dependen del tipo de plantas que se cultivan. Algunas plantas florecen sólo si la duración del período de luz diario se encuentra debajo de un cierto valor crítico; otras solo únicamente florecen si la exposición diaria es más larga que un valor crítico. Las primeras se denominan plantas de día corto, las últimas de día largo. La persona encargada de los cultivos debe tener el conocimiento adecuado sobre el tipo de planta que tiene en su invernadero y de acuerdo a esta información determinar el nivel de iluminación complementaria requerida para cada especie de planta en particular. El sistema desarrollado le permite ajustar éstos valores con sencillez, cumpliendo así con su objetivo de funcionalidad
- ◆ La señal de salida que proporciona el sensor de radiación está acondicionada de tal manera que cumple con las especificaciones que aconsejan los estándares internacionales para ambientes industriales.
- ◆ Debido a que no se cuenta con datos reales de radiación solar global dentro del invernadero no se logró verificar la forma en que en que se comporta la variable a controlar para distintas estaciones del año, así como los efectos beneficiosos prácticos que puede brindar el control de los niveles de energía luminosa para un cultivo en un invernadero.

## 5.2 RECOMENDACIONES

Durante el desarrollo del presente proyecto se observaron requerimientos que deben ser tomados en cuenta con el objetivo de aprovechar al máximo las bondades que un invernadero ofrece para la producción agrícola. A continuación se mencionan las más importantes:

- ◆ El primer punto a considerar debe ser la ubicación del invernadero. Se debe elegir un terreno expuesto durante todo el día al sol, huyendo de las quebradas, barrancos e incluso edificaciones que puedan dar sombra al invernadero durante algún momento del día. Se huirá igualmente del fondo de los valles donde puedan depositarse masas de aire frío en los meses invernales y de los lugares donde sean frecuentes las nieblas que impidan que la radiación solar llegue al suelo con toda su intensidad.
- ◆ Para lograr la optimización del sistema se recomienda la integración de todos los Proyectos de Titulación, que abarcan los estudios de las otras variables que influyen en la termodinámica del invernadero como: pH, Humedad Relativa, Humedad del ambiente, Temperatura, etc. Con esta unificación es imperioso realizar pruebas que permitan verificar si el control particular de cada Proyecto funciona globalmente.
- ◆ Es necesario contar con un invernadero que posea dimensiones y características similares a las encontradas en invernaderos reales, debido a que la termodinámica de un invernadero real va a ser diferente a la que se tiene en un prototipo.
- ◆ Uno de los objetivos primordiales de este Proyecto es el tener datos de Radiación Solar Global para nuestra realidad geográfica. Puesto que no se cuenta con el sensor de Radiación Solar, se recomienda la adquisición del mismo para validar los datos presentados en las diferentes Pruebas.

- ◆ La utilización de lámparas adaptadas a la configuración del invernadero permite mejorar los resultados de crecimiento en los cultivos. En la mayoría de invernaderos que se realiza el control de los niveles de iluminación, cuentan con este tipo de luminarias obteniendo excelentes resultados.
  
- ◆ El empleo de mallas de sombreo y de filmes plásticos con efectos difusores frente a la luz tienen una gran importancia para controlar la calidad, cantidad y tipo de luz aspectos que condicionan la morfología de la planta. Con todo esto los cultivos van a recibir solo la radiación adecuada a sus necesidades.
  
- ◆ Inicialmente el Presente Proyecto se concibió para ser financiado en su totalidad, sin embargo, dadas las condiciones económicas de la Institución nunca llegaron los recursos. Por este motivo no se adquirieron algunos implementos necesarios para mejorar el Proyecto uno de ellos es el cartucho para ampliar la memoria del PLC. Debido a ésta circunstancia solo INTOUCH es el encargado de almacenar los datos de radiación, por tanto si el PC deja de operar se pierde valiosa información que el investigador pueda requerir. Se recomienda adquirir el mencionado cartucho.

## **BIBLIOGRAFIA**

## BIBLIOGRAFÍA

- [1] COUGHLIN, ROBERT, Amplificadores Operacionales y Circuitos Integrados Lineales , Prentice-Hall, México, Quinta Edición , 1999.
- [2] CREUS SOLE, Instrumentación Industrial, Alfaomega, México, Quinta Edición, 1995.
- [3] NORTON HARRY, Sensores y Analizadores, Colección Electrónica / Informática GG, Barcelona, España, 1984.
- [4] PHILIPS, Manual de Iluminación, Argentina, Buenos Aires, 1997.
- [5] RAMÍREZ VASQUEZ JOSE, Luminotecnia, CEAC, Barcelona, Quinta Edición, 1982.
- [6] REMACHE JUAN CARLOS, Control de Temperatura de un Calentador de Líquidos usando Intouch y un PLC, Proyecto de Titulación, EPN, Escuela de Ingeniería en Electrónica y Control, Quito, Febrero 2002.
- [6] SIMATIC SISTEMA DE AUTOMATIZACIÓN S7 200, Manual del Sistema, Referencia del manual: 6ES7298 – 8FA21 – 8DH0, Edición # 2, 2000.
- [7] WONDERWARE CORPORATION, Wonderware FactorySuite User´s Guide, Revisión C, USA, 1999.

## REFERENCIAS WEB

- [1] <http://www.riegosdenavarra.com/sar/regante2.htm>
- [2] [http://editorial.cda.ulpgc.es / ambient/2\\_clima/soleamiento/resis/Soleamie.htm](http://editorial.cda.ulpgc.es / ambient/2_clima/soleamiento/resis/Soleamie.htm)
- [3] [http://www.infoagro.com/industria\\_auxiliar/control\\_climatico2.asp](http://www.infoagro.com/industria_auxiliar/control_climatico2.asp)
- [4] [http://www.itpssoft.com/html/productos/in\\_productos/inv\\_comp..htm](http://www.itpssoft.com/html/productos/in_productos/inv_comp..htm)
- [5] <http://www.laspalmerillas.cajamar.es/Publicaciones/Publicaciones.htm>

- [6] <http://www.Kippzonen.com/product/cm3.htm>
- [7] <http://www.fcv.unl.edu.ar/revista/fave>
- [8] [http://www.sanambiente.com.co/html/redm\\_portafo.html](http://www.sanambiente.com.co/html/redm_portafo.html)
- [9] <http://www.drcalderonlabs.com/index.html>

**ANEXOS**

## **ANEXO A**

### **ESPECIFICACIONES DEL SENSOR DE RADIACIÓN: CM3**



[Contact](#)

[Search](#)

[Company](#)

[News & Events](#)

[Products](#)

[Resources](#)

[Technical  
support](#)

## Greenhouse Climate Control

Greenhouses create near perfect micro climates, where the control of water, nutrients, heating, lighting and shading all contribute to an ideal environment for plants.

The greatest influence on plant growth is that of the sun. When it shines two processes take place; the plants grow and the temperature of ambient air rises.

Consequently the measurement of solar radiation is of critical importance, as modern agriculture requires plants to mature and be there at best by a particular date. By the skilful ratio created between nutrients, water and radiation (this is achieved by the addition of artificial light), harvest of the crop can be made on a particular date. Precise solar measurement will contribute to a high degree of control of the plant growth and to a efficient use of energy for heating the greenhouse.

Typically in climate control applications a pyranometer **CM 3** will be ideal, however in cases where reliability of the data is of great economic importance, for instance cultivation of roses, a **CM 6B** is normally used.

Keywords: cm3 cm6b enviroapp

**ANEXO B**

**ESPECIFICACIONES DEL MODULO DE AMPLIACIÓN EM**

**231**

## A.4 Datos técnicos de la CPU 224 (firmware 1.1)

Tabla A-4 Datos técnicos de la CPU 224 DC/DC/DC y de la CPU 224 AC/DC/Relé

Descripción Nº de referencia	CPU 224 DC/DC/DC 6ES7 214-1AD21-0XB0	CPU 224 AC/DC/Relé 6ES7 214-1BD21-0XB0
<b>Tamaño físico</b>		
Dimensiones (l x a x p)	120,5 mm x 80 mm x 62 mm	120,5 mm x 80 mm x 62 mm
Peso	360 g	410 g
Pérdida de corriente (disipación)	7 W	10 W
<b>Características de la CPU</b>		
Entradas digitales Integradas	14 entradas	14 entradas
Salidas digitales Integradas	10 salidas	10 salidas
Contadores rápidos (valor de 32 bits)		
Total	6 contadores rápidos	6 contadores rápidos
Contadores de fase simple	6, con una frecuencia de reloj máx. de 30 kHz c/u	6, con una frecuencia de reloj máx. de 30 kHz c/u
Contadores de dos fases	4, con una frecuencia de reloj máx. de 20 kHz c/u	4, con una frecuencia de reloj máx. de 20 kHz c/u
Salidas de impulsos	2 a una frecuencia de impulsos de 20 kHz	2 a una frecuencia de impulsos de 20 kHz
Potenciómetros analógicos	2 con resolución de 8 bits	2 con resolución de 8 bits
Interrupciones temporizadas	2 con resolución de 1 ms	2 con resolución de 1 ms
Interrupciones de flanco	4 flancos positivos y/o 4 flancos negativos	4 flancos positivos y/o 4 flancos negativos
Tiempos de filtración de entradas	7 márgenes de 0,2 ms a 12,8 ms	7 márgenes de 0,2 ms a 12,8 ms
Capturar impulsos	14 entradas de captura de impulsos	14 entradas de captura de impulsos
Reloj de tiempo real (precisión del reloj)	2 minutos por mes a 25° C 7 minutos por mes 0° C a 55° C	2 minutos por mes a 25° C 7 minutos por mes 0° C a 55° C
Tamaño del programa (almacenado permanentemente)	4096 palabras	4096 palabras
Tamaño del bloque de datos (almacenado permanentemente):	2560 palabras	2560 palabras
Almacenamiento permanente	2560 palabras	2560 palabras
Respaldo por condensador de alto rendimiento o pila	2560 palabras	2560 palabras
Nº de módulos de ampliación	7 módulos	7 módulos
E/S de ampliación digitales (máx.)	256 E/S	256 E/S
E/S analógicas (máx.)	32 entradas y 32 salidas	32 entradas y 32 salidas
Marcas internas	256 bits	256 bits
Almacenamiento permanente al apagar	112 bits	112 bits
Respaldo por condensador de alto rendimiento o pila	256 bits	256 bits
Temporizadores (total)	256 temporizadores	256 temporizadores
Respaldo por condensador de alto rendimiento o pila	64 temporizadores	64 temporizadores
1 ms	4 temporizadores	4 temporizadores
10 ms	16 temporizadores	16 temporizadores
100 ms	236 temporizadores	236 temporizadores
Contadores (total)	256 contadores	256 contadores
Respaldo por condensador de alto rendimiento o pila	256 contadores	256 contadores
Velocidad de ejecución booleana	0,37 µs por operación	0,37 µs por operación
Velocidad de ejecución de Transferir palabra	34 µs por operación	34 µs por operación
Velocidad de ejecución de temporizadores/contadores	50 µs a 64 µs por operación	50 µs a 64 µs por operación
Velocidad de ejecución de aritmética de precisión simple	46 µs por operación	46 µs por operación
Velocidad de ejecución de aritmética en coma flotante	100 µs a 400 µs por operación	100 µs a 400 µs por operación
Tiempo de respaldo por el condensador de alto rendimiento	típ. 190 h, mín. 120 h a 40° C	típ. 190 h, mín. 120 h a 40° C

Tabla A-4 Datos técnicos de la CPU 224 DC/DC/DC y de la CPU 224 AC/DC/Relé (continuación)

Descripción Nº de referencia	CPU 224 DC/DC/DC 6ES7 214-1AD21-0XB0	CPU 224 AC/DC/Relé 6ES7 214-1BD21-0XB0
<b>Comunicación Integrada</b>		
Nº de puertos	1 puerto	1 puerto
Puerto eléctrico	RS-485	RS-485
Aislamiento (señal externa a circuito lógico)	Sin aislamiento	Sin aislamiento
Velocidades de transferencia PPI/MPI	9,6, 19,2 y 187,5 kbit/s	9,6, 19,2 y 187,5 kbit/s
Velocidades de transferencia Freeport	0,3, 0,6, 1,2, 2,4, 4,8, 9,6, 19,2 y 38,4 kbit/s	0,3, 0,6, 1,2, 2,4, 4,8, 9,6, 19,2 y 38,4 kbit/s
Longitud máx. del cable por segmento hasta 38,4 kbit/s	1200 m	1200 m
187,5 kbit/s	1000 m	1000 m
Nº máximo de estaciones		
Por segmento	32 estaciones	32 estaciones
Por red	126 estaciones	126 estaciones
Nº máximo de maestros	32 maestros	32 maestros
Modo maestro PPI (NETR/NETW)	SI	SI
Enlaces MPI	4 en total; 2 reservados: 1 para PG y 1 OP	4 en total; 2 reservados: 1 para PG y 1 OP
Cartuchos opcionales		
Cartucho de memoria (almacenamiento permanente)	Programa, datos y configuración	Programa, datos y configuración
Cartucho de pila (tiempo de respaldo de datos)	típ. 200 días	típ. 200 días
<b>Alimentación</b>		
Tensión de línea (margen admisible)	DC 20,4 a 28,8 V	AC 85 a 264 V 47 a 63 Hz
Corriente de entrada (sólo CPU) / carga máx.	110/700 mA a DC 24 V	30/100 mA a AC 240 V 60/200 mA a AC 120 V
Extra-corriente de serie (máx.)	10 A a DC 28,8 V	20 A a AC 264 V
Aislamiento (corriente de entrada a lógica)	Sin aislamiento	AC 1500 V
Tiempo de retardo (desde la pérdida de corriente de entrada)	mín. 10 ms de DC 24 V	80 ms de AC 240 V, 20 ms de AC 120 V
Fusible interno (no reemplazable por el usuario)	2 A, 250 V, de acción lenta	2 A, 250 V, de acción lenta
+5 alimentación para módulos de amplificación (máx.)	660 mA	660 mA
Alimentación para sensores DC 24 V		
Margen de tensión	DC 15,4 a 28,8 V	DC 20,4 a 28,8 V
Corriente máxima	280 mA	280 mA
Rizado corriente parásita	Igual que línea de entrada	Menos de 1 V pico a pico (máx.)
Corriente límite	600 mA	600 mA
Aislamiento (alimentación de sensor a circuito lógico)	Sin aislamiento	Sin aislamiento

Tabla A-4 Datos técnicos de la CPU 224 DC/DC/DC y de la CPU 224 AC/DC/Relé (continuación)

Descripción Nº de referencia	CPU 224 DC/DC/DC 6ES7 214-1AD21-0XB0	CPU 224 AC/DC/Relé 6ES7 214-1BD21-0XB0
<b>Características de las entradas</b>		
Nº de entradas integradas	14 entradas	14 entradas
Tipo de entrada	Sumidero de corriente/fuente (tipo 1 IEC)	Sumidero de corriente/fuente (tipo 1 IEC)
Tensión de entrada		
Tensión máx. continua admisible	DC 30 V	DC 30 V
Sobretensión transitoria	DC 35 V, 0,5 s	DC 35 V, 0,5 s
Valor nominal	DC 24 V a 4 mA, nominal	DC 24 V a 4 mA, nominal
Señal 1 lógica (mín.)	mín. DC 15 V a 2,5 mA	mín. DC 15 V a 2,5 mA
Señal 0 lógica (máx.)	máx. DC 5 V a 1 mA	máx. DC 5 V a 1 mA
Aislamiento (campo a circuito lógico)		
Separación galvánica	AC 500 V, 1 minuto	AC 500 V, 1 minuto
Grupos de aislamiento de:	8 y 6 E/S	8 y 6 E/S
<b>Tiempos de retardo de las entradas</b>		
Entradas filtradas y entradas de interrupción	0,2 a 12,8 ms, seleccionable por el usuario	0,2 a 12,8 ms, seleccionable por el usuario
Entradas de reloj de los contadores rápidos		
Fase simple		
Nivel 1 lógico = DC 15 V a DC 30 V	20 kHz	20 kHz
Nivel 1 lógico = DC 15 V a DC 26 V	30 kHz	30 kHz
<b>Contadores A/B</b>		
Nivel 1 lógico = DC 15 V a DC 30 V	10 kHz	10 kHz
Nivel 1 lógico = DC 15 V a DC 26 V	20 kHz	20 kHz
<b>Conexión de sensor de proximidad de 2 hilos (Bero)</b>		
Corriente de fuga admisible	máx. 1 mA	máx. 1 mA
<b>Longitud del cable</b>		
No apantallado (no HSC)	300 m	300 m
Apantallado	500 m	50 m
Entradas HSC, apantalladas	50 m	50 m
<b>Nº de entradas ON simultáneamente</b>		
40° C	14	14
55° C	14	14
<b>Características de las salidas</b>		
Nº de salidas integradas	10 salidas	10 salidas
Tipo de salida	Estado sólido-MOSFET	Relé, contacto de baja potencia
Tensión de salida		
Margen admisible	DC 20,4 a 28,8 V	DC 5 a 30 V ó AC 5 a 250 V
Valor nominal	DC 24 V	—
Señal 1 lógica a corriente máxima	mín. DC 20 V	—
Señal 0 lógica a 10 K $\Omega$ de carga	máx. DC 0,1 V	—
<b>Corriente de salida</b>		
Señal 1 lógica	0,75 A	2,00 A
Nº de grupos de salidas	2	3
Nº de salidas ON (máx.)	10	10
Por grupo — montaje horizontal (máx.)	5	4/3/3
Por grupo — montaje vertical (máx.)	5	4/3/3
Corriente máx. por común/grupo	3,75 A	8 A
Carga LEDs	5 W	30 W DC/200 W AC
Resistencia estado ON (resistencia contactos)	0,3 $\Omega$	0,2 $\Omega$ , máx. si son nuevas
Corriente de derivación por salida	máx. 10 $\mu$ A	—
Sobrecorriente momentánea	máx. 8 A, 100 ms	7A al estar cerrados los contactos
Protección contra sobrecargas	no	no

Tabla A-4 Datos técnicos de la CPU 224 DC/DC/DC y de la CPU 224 AC/DC/Relé (continuación)

Descripción Nº de referencia	CPU 224 DC/DC/DC 6ES7 214-1AD21-0XB0	CPU 224 AC/DC/Relé 6ES7 214-1BD21-0XB0
<b>Aislamiento (campo a circuito lógico)</b>		
Separación galvánica	AC 500 V, 1 minuto	—
Resistencia de aislamiento	—	100 M Ω, mín. si son nuevas
Aislamiento bobina a contacto	—	AC 500 V, 1 minuto
Aislamiento entre contactos abiertos	—	AC 750 V, 1 minuto
En grupos de:	5 E/S	4 E/S / 3 E/S / 3 E/S
<b>Carga inductiva, apriete</b>		
Repetición    disipación de energía < 0,5 LI <sup>2</sup> x frecuencia de conmutación	1 W, en todos los canales	—
<b>Límites tensión de bloqueo</b>	L+ menos 48V	—
<b>Retardo de las salidas</b>		
OFF a ON (Q0.0 y Q0.1)	máx. 2 µs	—
ON a OFF (Q0.0 y Q0.1)	máx. 10 µs	—
OFF a ON (Q0.2 hasta Q1.1)	máx. 15 µs	—
ON a OFF (Q0.2 hasta Q1.1)	máx. 100 µs	—
<b>Frecuencia de conmutación (salida de impulsos)</b>		
Q0.0 y I0.1	máx. 20 kHz	máx. 1 Hz
<b>Relé</b>		
Retardo de conmutación	—	máx. 10 ms
Vida útil mecánica (sin carga)	—	10.000.000 ciclos abiertos/cerrados
Vida útil contactos a carga nominal	—	100.000 ciclos abiertos/cerrados
<b>Longitud del cable</b>		
No apantallado	150 m	150 m
Apantallado	500 m	500 m

**ANEXO C**

**ESPECIFICACIONES DEL MODULO DE AMPLIACIÓN EM**

**231**

## A.11 Datos técnicos de los módulos de ampliación EM 231, EM 232 y EM 235 de entradas y/o salidas analógicas

Tabla A-11 Datos técnicos de los módulos de ampliación EM 231, EM 232 y EM 235 de entradas y/o salidas analógicas

Descripción	EM 231, 4 entradas analógicas x 12 bits 6ES7 231-0HC20-0XA0	EM 232, 2 salidas analógicas x 12 bits 6ES7 232-0HB20-0XA0	EM 235, 4 entradas analógicas/4 salidas analógicas x 12 bits 6ES7 235-0KD20-0XA0
Nº de referencia	Datos de las entradas	Datos de las salidas	Datos de las entradas   Datos de las salidas
<b>Datos generales</b>			
Dimensiones (l x a x p)	71,2 mm x 80 mm x 62 mm	46 mm x 80 mm x 62 mm	71,2 mm x 80 mm x 62 mm
Peso	183 g	148 g	186 g
Pérdida de corriente (disipación)	2 W	2 W	2 W
Cantidad de E/S físicas	4 entradas analógicas	2 salidas analógicas	4 entradas analógicas, 1 salida analógica
Consumo de corriente			
De +DC 5 V (del bus de ampliación)	20 mA	20 mA	30 mA
De L+	60 mA	70 mA (ambas salidas a 20 mA)	60 mA (salida a 20 mA)
Margen de tensión L+, clase 2 o alimentación de sensores DC	20,4 a 28,8	20,4 a 28,8	20,4 a 28,8
Indicador LED	Alimentación DC 24 V, ON = correcta, OFF = sin corriente DC 24 V	Alimentación DC 24 V, ON = correcta, OFF = sin corriente DC 24 V	Alimentación DC 24 V, ON = correcta, OFF = sin corriente DC 24 V
<b>Datos de las entradas analógicas</b>			
Formato palabra de datos	(v. figura A-21)		(v. figura A-21).
Bipolar, margen máx.	-32000 a +32000		-32000 a +32000
Unipolar, margen máx.	0 a 32000		0 a 32000
Impedancia de entrada	≥10 MΩ		≥ 10 MΩ
Atenuación filtro de entrada	-3 db @ 3,1 kHz		-3 db @ 3,1 kHz
Tensión de entrada máxíma	DC 30 V		DC 30 V
Corriente de entrada máxíma	32 mA		32 mA
Resolución	Convertidor A/D de 12 bits		Convertidor A/D de 12 bits
Nº de entradas analógicas	4		4
Alisamiento (campo a circuito lógico)	Ninguno		Ninguno
Tipo de entrada	Diferencial		Diferencial
Márgenes de las entradas			
Tensión (unipolar)	0 a 10 V, 0 a 5 V		0 a 10 V, 0 a 5 V, 0 a 1 V, 0 a 500 mV, 0 a 100 mV, 0 a 50 mV
Tensión (bipolar)	±5 V, ± 2,5 V		± 10 V, ± 5 V, ± 2,5 V, ± 1 V, ± 500 mV, ± 250 mV, ± 100 mV, ± 50 mV, ± 25 mV
Corriente	0 a 20 mA		0 a 20 mA
Resolución de las entradas	(v. tabla A-5)		(v. tabla A-13)
Tensión (unipolar)			
Tensión (bipolar)			
Corriente			
Tiempo de conversión analógica/digital	< 250 μs		< 250 μs
Respuesta de salto de la entrada analógica	1,5 ms a 95%		1,5 ms a 95%
Rechazo en modo común	40 dB, DC a 60 Hz		40 dB, DC a 60 Hz
Tensión en modo común	Tensión de señal más tensión en modo común (debe ser ≤ 12 V)		Tensión de señal más tensión en modo común (debe ser ≤ 12 V)

Descripción Nº de referencia	EM 231, 4 entradas analógicas x 12 bits 6ES7 231-0HC20-0XA0	EM 232, 2 salidas analógicas x 12 bits 6ES7 232-0HB20-0XA0	EM 235, 4 entradas analógicas/4 salidas analógicas x 12 bits 6ES7 235-0KD20-0XA0	
	Datos de las entradas	Datos de las salidas	Datos de las entradas	Datos de las salidas
<b>Datos de las salidas analógicas</b>				
Nº de salidas analógicas		2		1
Aislamiento (campo a circuito lógico)		Ninguno		Ninguno
Margen de señales Salida de tensión Salida de corriente		± 10 V 0 a 20 mA		± 10 V 0 a 20 mA
Resolución, margen máx. Tensión Corriente		12 bits 11 bits		12 bits 11 bits
Formato palabra de datos Tensión Corriente		-32000 a +32000 0 a +32000		-32000 a +32000 0 a +32000
Precisión Caso más desfavorable, 0° a 55° C Salida de tensión Salida de corriente Típico, 25° C Salida de tensión Salida de corriente		± 2% de margen máx. ± 2% de margen máx.  ± 0,5 % de margen máx. ± 0,5 % de margen máx.		± 2% de margen máx. ± 2% de margen máx.  ± 0,5 % de margen máx. ± 0,5 % de margen máx.
Tiempo de estabilización Salida de tensión Salida de corriente		100 µS 2 mS		100 µS 2 mS
Accionamiento máx. Salida de tensión Salida de corriente		mín. 5000 Ω máx. 500 Ω		mín. 5000 Ω máx. 500 Ω

## A.17 Cable PC/PPI

Nº de referencia 6ES7 901-3BF20-0XA0

Características generales	
Tensión de alimentación	DC 14,4 a 28,8 V
Corriente de alimentación @ 24 V alimentación nominal	máx. 50 mA RMS
Retardo al cambio de sentido; bit de arranque flanco recibido en RS-232 a bit de arranque flanco enviado a RS-485	máx. 1,2 $\mu$ S
Retardo del cambio de sentido; bit de parada flanco recibido en RS-232 a transmisión inhibida en RS-485	1,4 caracteres por máx. (1,4 x 11/bit/s) = 1,6 ms @ 9600 bit/s
Retardo de propagación	máx. 4 $\mu$ S, RS-485 a RS-232, máx. 1,2 $\mu$ S, RS-232 a RS-485
Aislamiento	DC 500 V
Características eléctricas del enlace RS-485	
Margen de la tensión en modo común	-7 V a +12 V, 1 segundo 3 V RMS continuo
Impedancia de entrada del receptor	mín. 5,4K $\Omega$ , incluyendo cierre
Cierre/polarización	10K $\Omega$ a +5V en B, pin 3 PROFIBUS 10K $\Omega$ a GND en A, pin 8 PROFIBUS
Umbral/sensibilidad del receptor	+/- 0,2 V, 60 mV (histéresis típ.)
Tensión de salida diferencial del transmisor	mín. 2 V @ $R_L = 100 \Omega$ mín. 1,5 V @ $R_L = 54 \Omega$
Características eléctricas del enlace RS-232	
Impedancia de entrada del receptor	mín. 3K $\Omega$
Umbral/sensibilidad del receptor	mín. 0,8 V bajo, máx. 2,4 V alto, histéresis típica: 0,5 V
Tensión de salida del transmisor	mín. +/- 5 V @ $R_L = 3K \Omega$

Dimensiones del cable PC/PPI

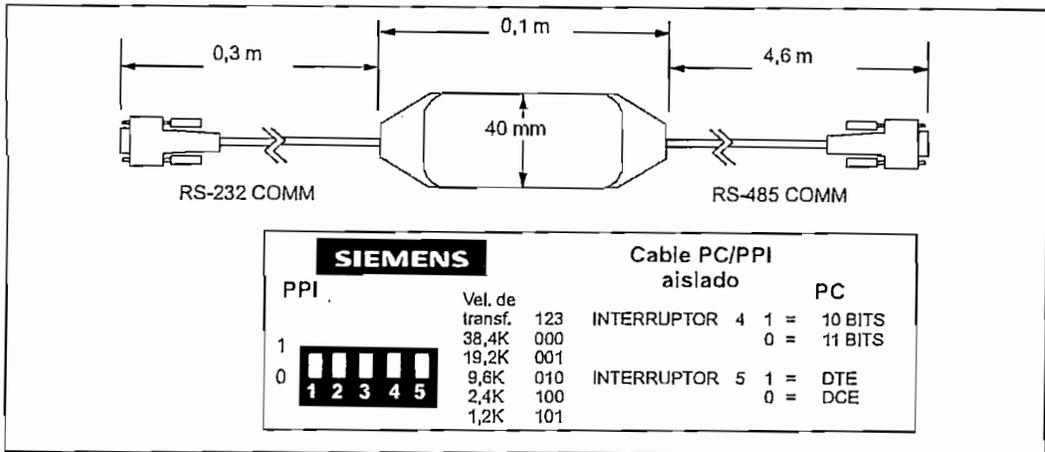


Figura A-42 Dimensiones del cable PC/PPI

Tabla A-37 Posición de los interruptores DIP en el cable PC/PPI para seleccionar la velocidad de transferencia

Velocidad de transferencia (en bit/s)	Interruptor DIP (1 = arriba)
38400	000
19200	001
9600	010
4800	011
2400	100
1200	101
600	110

Tabla A-38 Utilización de módems con el cable PC/PPI

Tipo de módem	Interruptor DIP (1 = arriba)
Módem de 11 bits	0
Módem de 10 bits	1

Tabla A-39 Asignación de pines del cable PC/PPI

Asignación de pines	Interruptor DIP (1 = arriba)
DCE	0
DTE	1

Tabla A-40 Asignación de pines para un conector de RS-485 a RS-232 DCE

Asignación de pines del conector RS-485		Asignación de pines del conector RS-232 DCE	
Nº de pin	Descripción de la señal	Nº de pin	Descripción de la señal
1	Tierra (RS-485)	1	Data Carrier Detect (DCD) (no utilizado)
2	Hilo de retorno 24 V (tierra RS-485)	2	Receive Data (RD) (salida del cable PC/PPI)
3	Señal B (Rx/D/TxD+)	3	Transmit Data (TD) (entrada al cable PC/PPI)
4	RTS (nivel TTL)	4	Data Terminal Ready (DTR) (no utilizado)
5	Tierra (RS-485)	5	Tierra (RS-232)
6	+5 V (con resistor en serie de 100 $\Omega$ )	6	Data Set Ready (DSR) (no utilizado)
7	Alimentación 24 V	7	Request To Send (RTS) (no utilizado)
8	Señal A (Rx/D/TxD-)	8	Clear To Send (CTS) (no utilizado)
9	Selección de protocolo	9	Ring Indicator (RI) (no utilizado)

Tabla A-41 Asignación de pines para un conector de RS-485 a RS-232 DTE<sup>1</sup>

Asignación de pines del conector RS-485		Asignación de pines del conector RS-232 DTE <sup>1</sup>	
Nº de pin	Descripción de la señal	Nº de pin	Descripción de la señal
1	Tierra (RS-485)	1	Data Carrier Detect (DCD) (no utilizado)
2	Hilo de retorno 24 V (tierra RS-485)	2	Receive Data (RD) (entrada al cable PC/PPI)
3	Señal B (Rx/D/TxD+)	3	Transmit Data (TD) (salida del cable PC/PPI)
4	RTS (nivel TTL)	4	Data Terminal Ready (DTR) (no utilizado)
5	Tierra (RS-485)	5	Tierra (RS-232)
6	+5 V (con resistor en serie de 100 $\Omega$ )	6	Data Set Ready (DSR) (no utilizado)
7	Alimentación 24 V	7	Request To Send (RTS) (salida del cable PC/PPI)
8	Señal A (Rx/D/TxD-)	8	Clear To Send (CTS) (no utilizado)
9	Selección de protocolo	9	Ring Indicator (RI) (no utilizado)

<sup>1</sup> Para los módems se debe efectuar una conversión de conector hembra a conector macho y de 9 pines a 25 pines.