

# ESCUELA POLITECNICA NACIONAL

## ESCUELA DE INGENIERÍA

### DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE CONTROL DE CO<sub>2</sub> EN TIEMPO REAL PARA UNA ZONA ESPECÍFICA DE INVERNADEROS EN LA EMPRESA HILSEA INVESTMENTS LTD.

Tesis previa a la obtención del Título de Ingeniero en  
ELECTRÓNICA Y CONTROL

CHRISTIAN GEOVANNY PANCHI TOLEDO

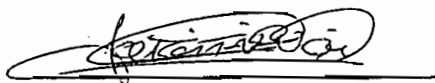
DIRECTOR: Dr. Luis Corrales

Quito, Septiembre, 2001

## DECLARACIÓN

Yo, Christian Geovanny Panchi Toledo, declaro bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentada para ningún grado o certificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

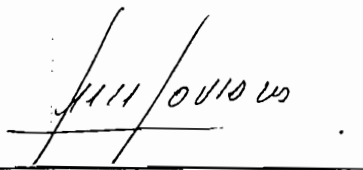
A través de la presente declaración cedo mis derechos de propiedad intelectual correspondientes a este trabajo, a la Escuela Politécnica Nacional, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normatividad institucional vigente.

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Christian G. Panchi T.', is written over a solid horizontal line.

Christian G. Panchi T.

## CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por Christian Geovanny Panchi Toledo, 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**

Agradezco a todas las personas que de una u otra manera apoyaron al desarrollo del proyecto, de manera especial al Dr. Luis Corrales por brindarme su tutoría, a todo el personal directivo de la empresa Hilsea Investments Ltd., a su personal de ingenieros del Departamento de Ingeniería y Mantenimiento de la empresa y de manera especial al Ing. Walter Berentzen, Director de "Unique Latin Propagation Ltd."

## DEDICATORIA

Para todos los que supieron alentar el sacrificio de alcanzar una de mis metas propuestas,

Para quienes me brindaron su apoyo y amor incondicional.....

Para quienes van a estar a mí alrededor en mi vida personal y profesional, para ustedes.....

Para Ti Dios,

Para mis padres: Miguel y Angélica,

Para mis hermanos: Edison y Mauricio,

Para ustedes mis queridos sobrinos: Jonathan y Mishel,

Para usted Margarita,

Y para todos mis amigos.

# CONTENIDO

## CAPITULO 1

### INTRODUCCIÓN AL CONTROL CLIMÁTICO EN INVERNADEROS

1.1	INTRODUCCIÓN .....	2
1.2	FACTORES AMBIENTALES.....	3
1.2.1	DIÓXIDO DE CARBONO.....	3
1.2.2	EL CO <sub>2</sub> EN LA ATMÓSFERA.....	3
1.2.3	EL CO <sub>2</sub> A LO LARGO DEL DÍA.....	4
1.2.4	EL CO <sub>2</sub> EN LA AGRICULTURA.....	5
1.2.4.1	Efectos del CO <sub>2</sub> sobre la producción y calidad del rosal.....	7
1.2.4.2	Dosis y época de aplicación.....	8
1.2.5	HUMEDAD RELATIVA.....	9
1.3	INTERACCION DE LOS FACTORES AMBIENTALES.....	10
1.3.1	EFEECTO COMBINADO LUZ-TEMPERATURA.....	11
1.3.2	LUZ-CO <sub>2</sub> .....	11
1.3.3	CO <sub>2</sub> -TEMPERATURA.....	12
1.3.4	CO <sub>2</sub> -HUMEDAD RELATIVA.....	15
1.3.5	INTERACCIÓN DE LA LUZ, TEMPERATURA Y NIVEL DE CO <sub>2</sub> .....	15
1.4	EL INVERNADERO.....	16
1.4.1	CULTIVO EN INVERNADERO.....	16
1.4.1.1	Eficiencia y Funcionalidad.....	18
1.4.1.2	Ventajas y limitaciones del cultivo protegido.....	18
1.4.1.3	Nivel de CO <sub>2</sub> en un invernadero.....	19
1.5	CONTROL CLIMÁTICO.....	19
1.5.1	COSTOS DE LOS MÉTODOS PARA ENRIQUECIMIENTO CON CO <sub>2</sub> .....	23
1.6	DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE CO <sub>2</sub> DE LA COMPAÑÍA	
	HILSEA.....	25
1.6.1	CONDENSADOR DE GAS.....	26
1.6.1.1	Operación.....	29
1.6.1.1.1	Operación de la válvula de distribución.....	30
1.6.1.1.2	Válvulas de dos posiciones.....	31

1.6.2	UNIDADES DOSIFICADORAS DE CO <sub>2</sub> .....	31
1.6.3	CONTROLADOR DE CO <sub>2</sub> .....	32
1.6.3.1	Sistema Electroválvula-motor.....	33
1.6.4	SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN DE CO <sub>2</sub> .....	33
1.6.4.1	Medidor-analizador CO <sub>2</sub> infrarrojo .....	35

## **CAPITULO 2**

### **ANÁLISIS DEL SISTEMA DE CONTROL DE CO<sub>2</sub> EN LA ZONA DE PROPAGACIÓN ROSAS**

2.1	DESCRIPCIÓN DE LAS ZONAS DE CULTIVO.....	44
2.2.1	ZONA NACIONAL.....	48
2.2.3	PROPAGACIÓN DE ROSAS.....	52
2.2	DESCRIPCION DEL SISTEMA ACTUAL.....	55
2.3	PROGRAMA DEL PROCESADOR DE CONTROL CLIMÁTICO.....	57
2.4	PROPUESTA DEL PROYECTO .....	59

## **CAPITULO 3**

### **DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL HARDWARE PARA EL SISTEMA DE CONTROL DE CO<sub>2</sub>**

3.1	SELECCIÓN DEL PLC.....	65
3.1.1	MÓDULOS DE EXPANSIÓN .....	69
3.1.2	FUENTE DE ALIMENTACIÓN .....	70
3.2	CONEXIÓN DEL PLC CON LA ZONA “PROPAGACIÓN ROSAS” .....	71
3.3	CONFIGURACIÓN DEL PLC.....	74
3.3.1	ESPECIFICACIONES RESUMIDAS DEL PLC SIEMENS S7- 214.....	74
3.3.2	MÓDULO DE EXPANSIÓN ANALOGO EM235 COMBINACIÓN AI 3/AQ 1 X 12 BITS .....	75
3.4	PROTOCOLOS DE COMUNICACIONES DEL PLC S7-214.....	76
3.4.1	PROTOCOLO PPI.....	77
3.4.2	MODO DE COMUNICACIÓN DEFINIDO POR EL USUARIO (FREEPORT).....	78
3.5	COMPONENTES PARA LA COMUNICACIÓN.....	78

## CAPITULO 4

### DESARROLLO DEL SOTWARE DE SOPORTE

4.1	REQUERIMIENTOS DE HARDWARE.....	82
4.2	DEFINICION DE TAREAS.....	83
4.3	PROGRAMACIÓN DEL PLC EN STEP 7-Micro/WIN.....	83
4.3.1	NOMENCLATURA DE LAS ENTRADAS, SALIDAS Y MÓDULOS DE AMPLIACIÓN.....	83
4.3.2	MEMORIA DEL PLC S7-214.....	85
4.3.3	INTERRUPCIONES DE COMUNICACIÓN.....	86
	El bloque de programa.....	89
	El bloque de datos .....	89
	El bloque de sistema .....	89
	La tabla de símbolos .....	90
	La tabla de estado .....	90
4.3.4	LA TRAMA DEL PROTOCOLO DE TRANSMISIÓN / RECEPCION.....	90
	Campo inicio .....	90
	Campo dirección .....	91
	Campo Fin .....	91
	Campo de datos .....	91
4.3.5	PROGRAMA PRINCIPAL.....	93
4.3.5.1	Subrutinas.....	95
	Subrutina "0" .....	95
	Subrutina "1".....	96
	Subrutina "2" .....	96
	Subrutina "3" .....	97
	Subrutina "4" .....	97
	Subrutina "5" .....	98
	Subrutina "6".....	98
	Subrutina "7" .....	98
	Subrutina "8" .....	99
	Subrutina "9" .....	99
	Subrutina "10" .....	100
	Subrutina "11" .....	100



4.3.5.2	Rutinas de interrupción.....	101
4.3.6	DESARROLLO DEL SOFTWARE DE ADMINISTRACIÓN EN LABVIEW.....	102
	Escribir en el PLC.....	106
	Leer del PLC.....	108
	Las SubVIs .....	110
	Sub VI día.....	111
	Sub VI HH:mm.....	111
	Sub VI Lectura análoga.....	111
	Sub VI Puerto Serie.....	112

## **CAPITULO 5**

### **PRUEBAS Y RESULTADOS**

5.1	PRUEBAS EN EL PROGRAMA STEP 7- Micro/WIN.....	114
5.2	PRUEBAS DE COMUNICACIÓN ENTRE EL PLC Y EL LABVIEW.....	119
5.3	PRUEBAS EN EL SIMULADOR DE RELÉS Y EN EL CAMPO.....	121
5.3.1	PRUEBAS EN EL SIMULADOR DE RELES.....	122
5.3.2	PRUEBAS EN EL CAMPO.....	122

## **CAPITULO 6**

### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

6.1	CONCLUSIONES .....	130
6.2	RECOMENDACIONES.....	133

BIBLIOGRAFÍA.....	136
-------------------	-----

**ANEXO A:**

**Especificaciones técnicas Condensador CO<sub>2</sub>.**

Installation protection equipment.....	A-1
Distribution valve .....	A-2
Shuttle valve.....	A-3
Condenser capacity.....	A-4
Set-up sequence when space is limited .....	A-5
Diagrama de conexiones flue gas condenser.....	A-6
Diagrama de conexiones flue gas condenser.....	A-7
Datos tecnicos de las unidades dosificadoras de CO <sub>2</sub> .....	A-8
Curva de calibracion del medidor de CO <sub>2</sub> .....	A-9
Instruction manual process programm sercom.....	A-10
Datos del medidor de CO <sub>2</sub> (Siemens) y del Interfaz desarrollado.....	A-14

**ANEXO B:**

**Especificaciones técnicas PLC Siemens S7-214.**

CPU 214 AC Power Supply, DC Inputs, Relay Outputs Data Sheet.....	B-1
Terminales de conexión del PLC-214 AC/DC/Relay .....	B-2
Datos técnicos: Módulo de ampliación EM235 .....	B-2
Configuración para el módulo EM 235.....	B-3
Datos técnicos: Módulo de ampliación EM235, entradas y salidas analógicas .....	B-4
Datos técnicos PC/PPI Cable.....	B-5

## RESUMEN

El material aquí expuesto puede entenderlo fácilmente cualquier persona que tenga conocimientos de programación de PLCs y programación en Labview.

En el *primer capítulo* se analiza el control climático en invernaderos tomando como punto de referencia la incidencia del anhídrido carbónico para el aprovechamiento en los cultivos y crecimiento de plantas, algunos detalles de comparación con otras variables son primordiales para darse cuenta su incidencia. Al concluir con el análisis de las variables incidentes dentro de un invernadero, se describe el sistema de control implementado, los elementos de medición utilizados y cómo están siendo accionados en la actualidad. Para mejorar la lectura y comprensión, se proporcionan ayudas gráficas.

Una vez concluido el análisis de funcionamiento y operación del sistema actual, se debe escoger una zona ó área de producción dentro de la plantación para desarrollar el proyecto. Así, en el *segundo capítulo* se describen las zonas de cultivo y su área de incidencia, poniendo hincapié en las zonas donde existen sistemas de dosificación artificial de CO<sub>2</sub> y llegando a definir el área que va ser motivo de estudio. Parte de este capítulo es describir el alcance del proyecto.

Al tener definido lo que se pretende hacer, en el *tercer capítulo* se lo dedica exclusivamente al diseño y construcción del nuevo hardware para el sistema de control de CO<sub>2</sub>. Como en este proyecto se trata de dar una alternativa de control con software de última generación, con aparatos que han sido probados en la industria como es el uso del PLC, se proporciona una descripción del PLC utilizado con detalles suficientes a la nueva configuración dada para el proyecto a desarrollarse. Además, se define el tipo de comunicación utilizado.

Siguiendo el orden, en el *cuarto capítulo* se describe el software de soporte, sus requerimientos básicos de hardware en una PC, y cada una de las rutinas y subrutinas desarrolladas para programar el PLC y la PC.

## PRESENTACIÓN

De tiempo en tiempo dentro del mundo de la industria se dan cambios realmente importantes, cambios que de cierta forma abren nuevos horizontes y mayores posibilidades. Algunos cambios han sido adoptados en la exportadora de flores "Hilsea Investments Ltd" con la introducción de sistemas de última tecnología para el control climatológico lo que ha revolucionado de gran manera los procesos de cultivo y de cosecha, obteniendo resultados importantes. Los sistemas implementados no son de reciente creación; estos han estado en uso por muchos años en la industria de floricultores en Holanda, lo que implica que los sistemas y aparatos utilizados fueron concebidos y diseñados muchos años atrás.

La compañía ha visto la necesidad de mejorar el rendimiento y la eficiencia de los procesos por la manera agresiva que han sido implementados, por lo que busca alternativas de control de estos sistemas para que en un futuro sean implementados, esto es gracias a la gran competencia existente en este sector exportador, lo cual obliga a las industrias a aumentar su calidad, objetivo casi imposible de lograr sin la incorporación de nuevas y propias tecnologías y una adecuada organización.

Por este motivo y con el fin de que la utilización de CO<sub>2</sub> en las plantas sea óptima, se decidió el estudio de la nueva alternativa de control en base al sistema propio e importado. El sistema base y ya implementado ha arrojado datos positivos, mejorando la calidad de la producción y aumentando su rendimiento por metro cuadrado; es así como en un principio se obtenía rendimientos de 0.8 tallos-planta-mes y al implementar esta nueva tecnología mejoró y subió la producción al 1.5 y 1.8 tallos-planta-mes\*. Al tener esta mejora en producción se ve necesario mejorar al sistema y arrojar un mejor rendimiento con el uso de nuevas técnicas que pueden ser añadidas.

---

\* Estos datos son obtenidos por consulta directa a los agrónomos de la plantación

Para el desarrollo del sistema implementado se analiza y se compara entre algunas alternativas de control en base a software de última generación, en donde las variables a incorporarse como los niveles de dosificación de CO<sub>2</sub>, nivel de CO, etc., puedan interactuar con el sistema ya conocido (en uso) y el que se implementará. Con esto se logró comprender que el mayor problema es su visualización y su control en tiempo real, por lo que marcó una iniciativa y consideración a la investigación de este problema. De hecho, se puede constatar que el sistema de base en uso sigue siendo una información de los acontecimientos pero no en tiempo real llegando ser al final, la razón de este trabajo.

Que este preámbulo sirva para presentar a una de las mayores revoluciones en el Ecuador en el uso de tecnología en la agricultura, una nueva tecnología que dejará completamente abierta la posibilidad a otros inversionistas a mejorar y optimizar sus áreas de cultivo, utilizando esta tecnología o una desarrollada con mejoras a este sistema implementada por sus propios ingenieros.

Finalmente, para mejorar la organización del proyecto se dividió en dos grupos: el operacional y el administrativo. El primero tiene que ver con la descripción de los procesos de control que intervienen en el sistema y el segundo con el software desarrollado para la administración y operación del sistema.

**CAPITULO 1**

**INTRODUCCIÓN AL CONTROL CLIMÁTICO EN  
INVERNADEROS**

## CAPITULO 1

### INTRODUCCIÓN AL CONTROL CLIMÁTICO EN INVERNADEROS

El objetivo del presente trabajo es diseñar y construir un sistema que permita el control de la alimentación de CO<sub>2</sub> en un invernadero. Por los costos involucrados, se tuvo que recurrir a una plantación de rosas en pleno proceso de producción y desarrollo, en donde se pudo poner en práctica el sistema aquí desarrollado. Esto, por otra parte significó que ciertas decisiones y tecnologías tuvieron que adecuarse a las necesidades particulares de la referida empresa.

Con el objeto de introducir al lector en materia, a continuación se hace un repaso en el que se explica los alcances de este proyecto y los beneficios que de este sistema se espera.

#### 1.1 INTRODUCCIÓN

La competitividad que existe en la agroindustria exige cada día mas un mayor rendimiento en la producción y calidad de su materia prima, para el caso presente, la flor. Los procesos que interviene en su desarrollo son muy variados y abarcan muchos sistemas: riego, ventilación, calefacción, CO<sub>2</sub>, fumigación, etc.

En la mayoría de las plantaciones para mejorar la producción y la calidad de su producto se recurre a controlar ciertas variables típicas, tales como la presión, el caudal, el nivel, la temperatura, el PH, conductividad, flujo, la humedad, el punto de rocío, temperatura ambiente interna y externa del invernadero, radiación del sol, etc. Puesto que sistemas automatizados permiten el mantenimiento y la regulación de estas constantes de una manera más confiable, en la mayoría de las plantaciones se ha procedido a automatizar el control del ambiente de sus invernaderos, reemplazando al operador humano; estos han quedado para tareas de supervisión y de vigilancia del proceso desde centros de control situados dentro de la propia zona de cultivo o bien desde cuartos de control desde donde se hace una supervisión a distancia y centralizada. Gracias a la automatización del control, ahora es posible entregar al consumidor productos en condiciones estables de calidad y de características, algo que al operario le eran imposibles o

muy difíciles de conseguir, realizando exclusivamente un control manual.

Como una novedad en nuestro país en el cultivo de rosas, la Compañía HILSEA decidida a mejorar su producción y calidad, optó por construir invernaderos en los que, a más de las variables típicas ya mencionadas, se inyecta y controla CO<sub>2</sub>. De esta necesidad puntual, surgió la iniciativa de desarrollar un sistema de control alternativo al importado, dando origen al presente trabajo.

Para entender la problemática detrás de sembrar y cultivar, a continuación se hace un resumen de los principales factores que intervienen en esta actividad.

## **1.2 FACTORES AMBIENTALES**

Un cultivo depende de muchas variables ambientales, cada una con su relativa importancia e incidencia. Para dar a comprender como afecta cada una de ellas, se las estudiará por separado a las de mayor incidencia, luego como se relacionan entre sí y con el resto de variables.

### **1.2.1 DIÓXIDO DE CARBONO**

Cierta cantidad de CO<sub>2</sub> del aire que rodea una planta es absorbida por las hojas y, por la acción de la luz, se transforma en azúcares, gracias a la reacción conocida como fotosíntesis. Los azúcares son de vital importancia para el desarrollo de la planta, de allí que el CO<sub>2</sub> es un factor importante que debe ser considerado en un cultivo. Por supuesto, el CO<sub>2</sub> no es todo y hay otros factores que intervienen, como por ejemplo, la temperatura.

### **1.2.2 EL CO<sub>2</sub> EN LA ATMÓSFERA**

La concentración de dióxido de carbono en la atmósfera se considera constante en toda la superficie terrestre. Actualmente el valor de esta concentración está cerca de los 350 vpm. En los últimos 100 años, esta tasa de CO<sub>2</sub> ha aumentado de 280 vpm hasta los 350 vpm actuales, como consecuencia de la actividad humana. En adelante, se estima que esta tasa crecerá al ritmo de 1,8 vpm anual.

La mayoría de modelos climatológicos prevé que se duplicará la tasa de CO<sub>2</sub> atmosférico en los próximos 100 años, incluso hay autores que dan cifras de 2500



vpm de dióxido de carbono para dentro de diez siglos, si se continúa con el mismo ritmo de consumo de carburantes de origen fósil. Ante estas perspectivas, la comunidad científica se pregunta cómo se desarrollará la vegetación en la tierra, y en particular la agricultura, ante estas concentraciones del gas en la atmósfera, cuando otros factores que intervienen en el crecimiento de las plantas -como agua y nutrientes- es probable que se vean seriamente limitados.

La concentración de dióxido de carbono en un sistema cerrado de invernadero disminuye sustancialmente, y éste es un factor limitante para el buen desarrollo del cultivo.

### 1.2.3 EL CO<sub>2</sub> A LO LARGO DEL DÍA

El día puede dividirse en cuatro fases: mañana -con luminosidad creciente-, mediodía -con máxima luminosidad-, tarde -luminosidad decreciente- y noche -con muy poca luz-.

El periodo más importante para enriquecer con CO<sub>2</sub> un cultivo es el mediodía, ya que es la parte del día en que se dan las máximas condiciones de luminosidad. Sin embargo, es importante tener en cuenta que el enriquecimiento es más efectivo, si al mismo tiempo hay una buena ventilación pues esta ayuda a la renovación del aire en un determinado ambiente. También interesa tener en cuenta que una correcta regulación de la intensidad lumínica, puede incidir en la absorción de la dosis apropiada del CO<sub>2</sub> por parte de una planta.

La mañana es un período importante para la actividad fotosintética dentro de una planta, por el hecho de que aún existe en el ambiente un nivel considerable de CO<sub>2</sub> producto de la actividad nocturna del vegetal. En la tarde, por el contrario, con casi la misma cantidad de luz que por la mañana, la concentración de CO<sub>2</sub> es débil, siendo este un período aconsejable para enriquecer en forma "artificial" con este gas.

Existen ensayos en otros países, como Francia y Dinamarca, donde son concientes de la gran cantidad de residuos orgánicos producidos por los distintos sectores urbanos, agrícolas, industriales. De estos residuos existen dos tipos de descomposición orgánica que producen CO<sub>2</sub>: la aerobia -en presencia de oxígeno- y la anaerobia -sin presencia de oxígeno-. Es este último tipo de fermentación, la anaerobia, la que da un mejor rendimiento de dióxido de carbono (40% de CO<sub>2</sub> y 60% de metano). Esta alternativa se debería continuar viendo como una buena opción para utilizarla con propósitos de reutilización del CO<sub>2</sub> producido.

#### 1.2.4 EL CO<sub>2</sub> EN LA AGRICULTURA

El gas carbónico (CO<sub>2</sub>) es un integrante del ciclo básico de la vida, material de base para la fotosíntesis e indispensable para las plantas clorofílicas. La fotosíntesis más el agua y la energía luminosa producen carbohidratos (o azúcares) y oxígeno. Este gas entra por las estomas<sup>1</sup> y, previa disolución con el agua en las cámaras estomáticas, llega a los cloroplastos, donde, tras numerosas reacciones, se produce la fotosíntesis. El crecimiento de las plantas es posible gracias al consumo de estos carbohidratos productos de la fotosíntesis.

La estructura de la planta está constituida aproximadamente por 90% de agua y 10% de materia seca. A su vez, el 40% aproximado de la materia seca de las plantas, está compuesta de carbono.

Además de la luz y temperatura, la absorción del CO<sub>2</sub> es función de otros factores de la fotosíntesis como la actividad estomática y la disponibilidad del mismo gas en la atmósfera. La actividad de apertura o cierre de las células estomáticas está en función de la concentración disponible de CO<sub>2</sub> y el abultamiento de estas células<sup>2</sup> está en función de la demanda climática y disponibilidad de agua en el sustrato.

---

<sup>1</sup> **estomas:** cualquiera de las pequeñísimas aberturas que hay en la epidermis de las hojas de las plantas.  
**clorofila:** pigmento verde de la mayoría de los vegetales, que absorbe ciertas radiaciones luminosas.

<sup>2</sup> la regulación estomática depende de la circulación del agua a través de la planta

En cuanto a la disponibilidad de CO<sub>2</sub> en la atmósfera, la concentración debe ser superior a 100 vpm (0,2 g/m<sup>3</sup> de aire) e inferior a 2000 vpm (4 g/m<sup>3</sup>). A valores superiores a este último, la planta puede cerrar las estomas, con posibles efectos irreversibles y muy perjudiciales para el cultivo.

Como resultado de diversas investigaciones, se ha podido constatar que la mayoría de los cultivos crecen mejor cuando se incrementa la concentración de CO<sub>2</sub> durante las horas de más luminosidad. La concentración adecuada de este gas está en función del tipo de cultivo, intensidad de la luz, temperatura, humedad, ventilación y estado de desarrollo del cultivo.

El incremento de la concentración de CO<sub>2</sub>, dentro de determinados niveles, propicia un mejor desarrollo de la planta puesto que a mayor CO<sub>2</sub> hay una mayor asimilación de carbohidratos en las estomas, lo cual a su vez mejora la producción de biomasa.

Estudios recientes indican también que el aumento de la concentración de CO<sub>2</sub> confiere mejoras en la precocidad y productividad del cultivo, notándose mejoras en la calidad de los frutos debido a la mejor actividad metabólica de la planta.

Sin embargo, utilizar el CO<sub>2</sub> para un aumento de la fotosíntesis no siempre da los resultados esperados. No siempre un aumento de la fotosíntesis en la planta se traduce en un balance positivo en la producción de materia seca. El aumento de la respiración y sombreo debido a un mayor tamaño de las hojas, puede afectar también negativamente al buen desarrollo de un tallo floral o de un fruto.

Por otro lado, no se puede hablar de una buena actividad fotosintética sin una óptima luminosidad. La luz es un factor importante, y así, la tasa de absorción de CO<sub>2</sub> es proporcional a la cantidad de luz recibida, obviamente, siempre y cuando exista suficiente concentración de CO<sub>2</sub> disponible en la atmósfera alrededor de la planta. Otras fórmulas curiosas establecen que «1% de luminosidad = 1 % de rendimiento».

Durante el día las condiciones climáticas: luz, temperatura, humedad son variables. Igual pasa con el  $\text{CO}_2$  en la atmósfera, donde la concentración más baja del gas se alcanza entre las 12 y las 16 horas, período en el que la planta está más ávida de gas carbónico y sus condiciones son más propicias para una mejor actividad metabólica.

Otro factor importante es la luz que, en combinación con el  $\text{CO}_2$  inciden en forma similar en la fotosíntesis; esto es, elevan el punto de compensación luminoso (Figura.1.1).

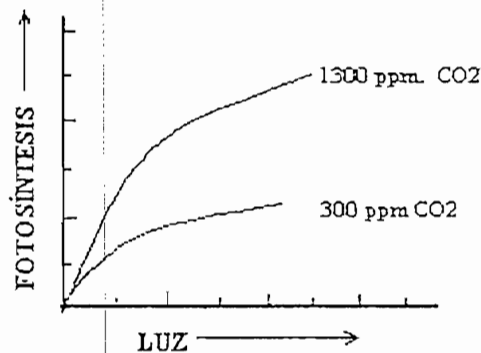


Figura 1.1. Relación entre el  $\text{CO}_2$ , luz y fotosíntesis

Por lo mismo, controlando el  $\text{CO}_2$  se puede mejorar la velocidad de fotosíntesis y, algo muy interesante, permite aumentar la producción en el invierno, época en la que el precio del producto, por ejemplo una flor, sube.

#### 1.2.4.1 Efectos del $\text{CO}_2$ sobre la producción y calidad del rosal

Hay numerosos estudios y resultados prácticos que demuestran el efecto benéfico del  $\text{CO}_2$  en un rosal. Así, Muttson y colaboradores (1971), comprobaron que diversas variedades de rosa híbrida producen de tres a seis flores más por planta al año, cuando incrementaron los niveles de  $\text{CO}_2$  desde 300 ppm hasta 1000 ppm. En otra experiencia, hicieron crecer diversas variedades de rosa híbrida con niveles de  $\text{CO}_2$  entre 700-1300 ppm y entre 1500-2500 ppm. Al mismo tiempo, un grupo testigo fue cultivado en ambientes con contenidos de  $\text{CO}_2$  entre 100-500 ppm. Al comparar los resultados obtenidos, observaron que las diversas

variedades que se criaron en el ambiente con alto contenido de CO<sub>2</sub> produjeron entre 1,5 y 6,0 flores/planta más que las del grupo testigo. Otro aspecto interesante de este experimento fue que se lo hizo de noviembre a mayo, período en el que hay menor cantidad de luz.

En general, los rosales creciendo en niveles ricos en CO<sub>2</sub> tienen un menor desarrollo radicular (largas y delgadas) y presentan mayor caída de hojas (renovándose), pero estos efectos se ven de sobra compensados con las mejoras obtenidas (aumento de productividad). Quizá el mayor efecto benéfico del CO<sub>2</sub> se traduce en un aumento de la calidad del producto final, lo cual repercute en la rentabilidad de un cultivo. Así, estos investigadores lograron aumentar en seis puntos el porcentaje de flores mayores de 50 cm.

Cabe advertir, que algunas variedades reaccionan de forma anómala al CO<sub>2</sub>. De hecho, la variedad "Visa" presenta a veces malformaciones en las flores. Si estas se presentan, deberá pararse el suministro de CO<sub>2</sub>.

#### 1.2.4.2 Dosis y época de aplicación

Por motivos económicos, la utilización del CO<sub>2</sub> en los países con cuatro estaciones se la limita a los meses de invierno, lo cual no es aplicable para países como el nuestro en el que se podría hablar de emplearlo todo el año.

La práctica aconseja enriquecer un ambiente cerrado con CO<sub>2</sub> durante el amanecer, con los primeros rayos de sol, y cesar la utilización cuando la temperatura obligue a abrir en demasía dicho ambiente o cuando anochezca.

Las dosis de aplicación del CO<sub>2</sub> difieren según la variedad del cultivo, época, clima, etc. En Europa por lo general se utiliza una dosis de 800 ppm durante dos a cuatro horas desde noviembre a febrero. En Estados Unidos las dosis son mucho más altas, superando frecuentemente las 1000 a 1500 ppm. En realidad no hay hasta la fecha estudios serios que respalden con resultados comprobados la dosis correcta.

Para el Ecuador se asume que, por encontrarse en una zona climática tropical en donde no existen las cuatro estaciones, la dosis de CO<sub>2</sub> debe estar en un valor entre las 500 ppm a 1500 ppm.

### 1.2.5 HUMEDAD RELATIVA.

La humedad relativa se define como: “ la relación de la presión parcial del vapor en el aire con la presión de saturación del vapor correspondiente a la temperatura existente. O bien, es la relación de la densidad del vapor de agua en el aire con la densidad de saturación a la temperatura correspondiente”.

La humedad relativa del aire en un ambiente cerrado tiene una influencia fundamental sobre la producción, calidad de la planta y en el control de diversas enfermedades. Por lo mencionado, se está poniendo más énfasis ahora en su control de lo que se hacía en el pasado.

La influencia de la humedad relativa se explica de la siguiente manera: la transpiración de las plantas depende principalmente de la humedad relativa del aire. Si ésta es muy baja, la planta puede cerrar sus estomas, evitando de esta manera, la pérdida de agua, con la consecuencia lógica de que, si esto ocurre, los intercambios de CO<sub>2</sub> no tienen lugar. La práctica y la experiencia aconsejan que la humedad relativa en un ambiente cerrado de rosales en producción no debe bajar del 60%.

Para el diseño del control de humedad relativa se debe considerar que cuanto más elevada es la temperatura del aire, mayor cantidad de agua debe contener, para mantener una misma humedad relativa. Es decir, conforme sube la temperatura del aire, la humedad relativa del invernadero baja (Figura 1.2).

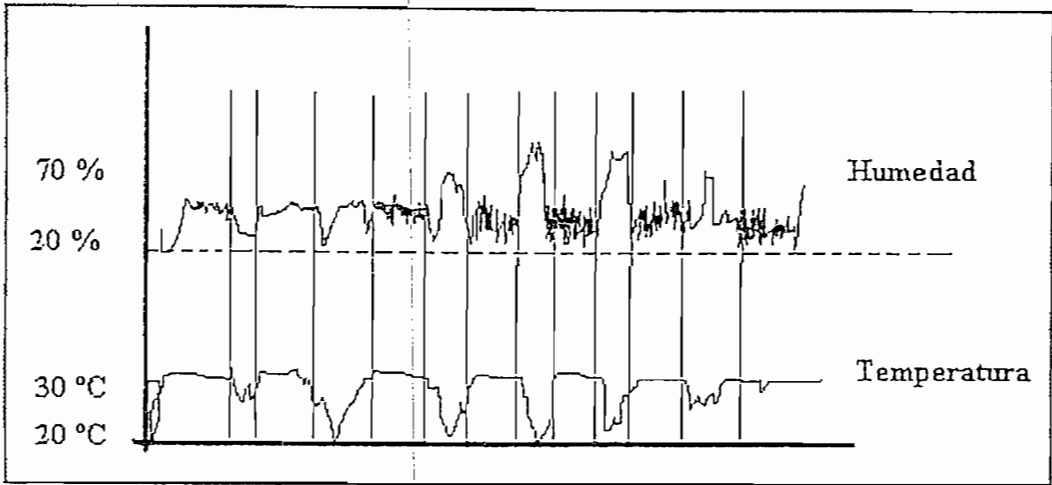


Figura 1.2 Humedad y temperatura correspondiente a un invernadero con ventilación convencional

También hay que tomar en cuenta que cuando se realizan tareas de poda o pinchamiento los cambios de humedad se vuelven muy críticos. Las yemas hinchadas o los brotes tiernos son especialmente sensibles a la sequía ambiental, obteniéndose por esta causa retrasos en la segunda cosecha a partir de la última poda.

Otro de los mayores efectos de los cambios bruscos de la humedad relativa se observa en aparición de plagas y enfermedades. En efecto, ambientes cerrados demasiado secos favorecen el desarrollo de ácaros (arácnidos), mientras que humedades relativas altas, por encima del 90%, favorecen los ataques fúngicos (muy esponjoso). Por otra parte, humedades relativas bajas durante el día (40 a 70%) y altas por la noche (90 a 99%) son las condiciones óptimas para el desarrollo del oidio (hongo parásito en forma de filamentos blanquecinos). Todo esto obliga a contraataques con químicos o fungicidas. Los valores ideales para la humedad relativa con sistemas de dosificación de  $\text{CO}_2$  están alrededor del 80 y el 90%.

### 1.3 INTERACCION DE LOS FACTORES AMBIENTALES

Anteriormente se han discutido los efectos de los factores ambientales más importantes por separado, pero esto está bien lejos de ser en un cultivo real.

En un cultivo interaccionan todos los factores, afectando en una forma muy difícil de interpretar la producción y la calidad de una planta. Si a esto se añade el que la producción y la calidad de una plantación de rosales viene determinada por la variedad en cultivo, el problema se hace más difícil de controlar.

Es muy crítico entonces escoger una cierta variedad, y definir los parámetros certeros de control de las variables; una importante decisión que en el futuro determinará cuantas flores y de que calidad se producirán, al comienzo teóricamente.

Las diferencias que existen entre la producción teórica y la real tienen lugar porque todos los factores que afectan al crecimiento no son mantenidos en los niveles óptimos. Para conseguir un máximo de producción el floricultor necesita evaluar los efectos de los factores ambientales sobre el crecimiento de la planta y controlarlos con un programa de cultivo adecuado a la variedad elegida.

Para facilitar el acercamiento a los valores óptimos, conviene analizar el efecto combinado de ciertos factores, que es lo que a continuación se hace.

### **1.3.1 EFECTO COMBINADO LUZ-TEMPERATURA**

No es perjudicial que se tenga un exceso de luz sobre un rosal, pero sí, por acción de la luz, se eleva grandemente la temperatura, entonces se tendrán anomalías como las ya discutidas anteriormente. Por esta razón, se debe prevenir la existencia de un sistema de sombreo, con la ayuda de pantallas térmicas, que trabaje generalmente en las épocas de verano, cuando la incidencia de luz es mayor que en otras épocas.

### **1.3.2 LUZ-CO<sub>2</sub>**

El CO<sub>2</sub> posibilita en gran medida a que se aproveche al máximo la acción de la luz en la fotosíntesis. Esto se observa en la Figura. 1.3.



Vale adelantar que el aumento de  $\text{CO}_2$  también se justifica en las épocas de invierno.

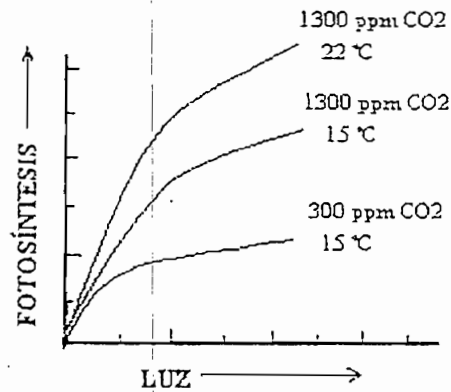


Figura 1.3 Interacción de algunos factores ambientales.

### 1.3.3 $\text{CO}_2$ -TEMPERATURA

El enriquecimiento artificial de  $\text{CO}_2$  en un ambiente cerrado hace posible que se incremente la temperatura diurna sin afectar la calidad de la planta, pero, en una cantidad moderada.

Es interesante notar que si se ha aumentado la calidad de la planta, como resultado del enriquecimiento con  $\text{CO}_2$ , la calidad no se reduce inmediatamente si se suprime la inyección de  $\text{CO}_2$ , caso contrario a lo que ocurre cuando desde una temperatura se la baja.

En la Tabla 1.1 se muestra el efecto de aumentar la temperatura del día con diversos niveles de  $\text{CO}_2$ . Se puede ver que, los rosales crecieron más rápido conforme se elevaba la temperatura y, como consecuencia, se cortaron más flores a 32 °C que a 21 °C.

Tabla 1.1 Influencia del CO<sub>2</sub> y temperatura sobre el crecimiento del rosal

Tratamiento*	Producción	Incremento en %	peso fresco medio	longitud media	longitud/peso***
		Sobre 21 °C no CO <sub>2</sub>	(gr.)	(cm)	
<b>Variedad: Rosa Better Times</b>					
21 °C-no CO <sub>2</sub>	675**	—	—	41,7	—
21 °C-CO <sub>2</sub>	755	26,6	19,1	43,5	0,44
32 °C-no CO <sub>2</sub>	883	30,8	14,9	48,3	0,39
32 °C-CO <sub>2</sub>	913	35,3	17,8	45,7	0,31
<b>Variedad: Rosa Regal Gold</b>					
21 °C-no CO <sub>2</sub>	388**	—	—	45,7	—
21 °C-CO <sub>2</sub>	451	16,2	21,5	49,8	0,43
32 °C-no CO <sub>2</sub>	558	43,8	15,6	46,1	0,34
32 °C-CO <sub>2</sub>	689	77,6	18,5	50	0,37
<b>Variedad: Rosa Yuletide</b>					
21 °C-no CO <sub>2</sub>	511**	—	—	49,9	—
21 °C-CO <sub>2</sub>	548	7,2	23,6	49,9	0,47
32 °C-no CO <sub>2</sub>	608	19	18,9	49,5	0,38
32 °C-CO <sub>2</sub>	813	59,1	21	52,5	0,4
*Temperatura del día, la indicada; temperatura de noche, 15 °C. Niveles de CO <sub>2</sub> : 1200 a 2000 ppm					
** Datos para 21 °C-no CO <sub>2</sub> calculados por la producción y longitud obtenidos para el año anterior con niveles de CO <sub>2</sub> : 500 a 600 ppm.					
*** Una relación peso/longitud de 0.4 indica una rosa de gran calidad y es equivalente al índice estándar americano de 1 gramo por cada pulgada.					

De la Tabla 1.1 se ve que el incremento de CO<sub>2</sub> produce un aumento de la producción. Pero, al subir la temperatura a 32 °C en el día, se ve que la calidad de la flor indicada por la relación peso-longitud se reduce. La relación peso-longitud es un índice de la calidad de una rosa. Por ejemplo, si con estos mismos parámetros, se logra obtener un índice de 0.4 en la relación longitud-peso para la variedad "Better Times", está indicando que se ha obtenido una excelente calidad en esta variedad, pero no sucedió.

Tabla 1.1-2 Efecto de las temperaturas día-noche y el nivel de CO<sub>2</sub>, sobre la variedad Red Bird

Tratamiento	15N-21D	15N-21D	15N-27D	15N-27D	15N-27D	21D-21N
	No CO <sub>2</sub>	1000 ppm	No CO <sub>2</sub>	850 ppm	+1000 ppm	+650 ppm
		CO <sub>2</sub>		CO <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub>
Producción total	2139	2770	2173	2722	2848	2997
Longitud (cm)	53,3	60,2	47,7	60,4	57,3	60,6
peso fresco (g)	18,9	20,7	16,6	20,5	19,4	17
Índice de calidad (peso/longitud)	0,35	0,34	0,35	0,34	0,34	0,28
N (noche) y D (día). Ejemplo: 15N-21D=15 °C por la noche, 21 °C por el día						

De esta manera, en la tabla 1.1-2 se hace referencia a varias relaciones de temperatura nocturna-diurna y niveles de CO<sub>2</sub>. Así, la elevación de la temperatura en las primeras horas de la mañana da como resultado una disminución en la longitud del tallo, como se indica en la columna 3.

Utilizando CO<sub>2</sub> artificial, columna 2, la calidad aumenta y se puede incrementar la temperatura diurna sin efectos sobre la calidad, obteniendo los valores de la columna 4 y también, un aumento del rendimiento en base a la producción total.

Goldsber y Holley (1966-1972) investigaron los efectos de incrementar la temperatura diurna y los niveles de CO<sub>2</sub> durante un año, analizando la calidad y producción de distintas variedades, de esta investigación concluyeron que "las plantas de rosas producen más flores conforme las temperaturas diurnas y los niveles de CO<sub>2</sub> aumentan".

Cabe indicar que los experimentos se hicieron bajo condiciones climáticas tropicales, en donde determinaron que "las temperaturas nocturnas deben mantenerse en 17 °C y las diurnas en 22 °C".

Afirman también que la acción de reducción de temperatura (refrigeración) debe comenzar a 27 °C y la acción de abrir las ventanas laterales en el ambiente cerrado debe darse a partir de los 32 °C.

Además dedujeron que, para estas condiciones, la dosis adecuada de CO<sub>2</sub> debe fluctuar alrededor de las 800 ppm.

#### 1.3.4 CO<sub>2</sub>-HUMEDAD RELATIVA

Al tener humedades relativas bajas, la planta comienza a cerrar sus estomas, dando como consecuencia la anulación del intercambio de CO<sub>2</sub>; por ello este factor debe ser vigilado constantemente cuando se inyecta el gas.

#### 1.3.5 INTERACCIÓN DE LA LUZ, TEMPERATURA Y NIVEL DE CO<sub>2</sub>

Al tener niveles normales de CO<sub>2</sub>, alrededor de 300 ppm, la velocidad de fotosíntesis aumenta conforme lo hace la luz, pero pronto alcanza su máximo valor, aunque se cuente con más luz adicional. El trazo recto de la Figura 1.3 señala que el proceso de la fotosíntesis está saturado por la luz, y otros factores ambientales limitan su crecimiento. La curva es idéntica tanto para 20 que para 30 °C; por ello el CO<sub>2</sub> es el factor de mayor incidencia para esta parte del trazo de dicha figura.

Si la concentración de CO<sub>2</sub> aumenta en la atmósfera que rodea a las hojas de la planta hasta un valor de 1300 ppm, en este caso, la luz es el factor que podría proporcionar mayor velocidad a la fotosíntesis. Bajo estas condiciones la temperatura es el factor clave; así, elevándose la temperatura desde 20 a 30 °C, la fotosíntesis aumenta otra vez.

Sin embargo, a mayores temperaturas los azúcares producidos son utilizados más rápidamente por acción de la respiración, quedando solo una cierta cantidad para el proceso de fotosíntesis, por lo que el crecimiento de la planta se reduce notablemente. Igual sucede con el nivel de CO<sub>2</sub>; demasiado puede ser tóxico.

Es evidente que cada factor tiene un nivel óptimo que depende de los otros. Las combinaciones óptimas de todos ellos no son realmente conocidas y dependen, además, de la variedad. El técnico encargado de encontrar los parámetros más óptimos, deberá seguir las directrices dadas anteriormente para cada variedad y

acercarse por experimentación al máximo rendimiento teórico.

A continuación se procede a describir en qué consiste un invernadero, cómo se beneficia una planta al contar con un ambiente controlado y, finalmente, cual es la ventaja de incluir el CO<sub>2</sub> en estos sistemas.

## 1.4 EL INVERNADERO

Es una construcción rural, con paredes y techo recubierto por una película transparente, permeable a la radiación solar. Posee una estructura de madera, hierro u otros materiales de suficiente altura para que se puedan realizar en su interior las labores que cada cultivo necesita. Así se genera en su interior un clima espontáneo que facilita el cultivo de diversas especies hortícolas y florícolas. Es el sistema más simple y económico, para captar energía solar a favor de los cultivos. La "calidad" del ambiente que se logra depende de la naturaleza de la cubierta, de su forma geométrica, y de las condiciones del clima externo.

De acuerdo a la norma AFNOR V 57001 de la Comunidad Económica Europea, se define a los invernaderos como: "Recursos destinados al cultivo y a la protección de las plantas, explotando la radiación solar, cuyas dimensiones permiten a un hombre trabajar cómodamente en su interior".

### 1.4.1 CULTIVO EN INVERNADERO

Las limitaciones que el medio ambiente impone, llevaron a crear nuevas formas de contrarrestarlas, lo que dio como resultado el cultivo protegido sea en partes o durante todo el ciclo del mismo. De esta manera, por ejemplo, se logró producir en épocas que antes no era posible.

El cultivo de diversas especies hortícolas en forma protegida es una estrategia productiva que persigue principalmente los siguientes objetivos:

- Aumentar la producción.
- Obtener productos de mejor calidad.
- Adelantar o retrasar el momento de la recolección (cosecha).

Al cultivar bajo invernadero ciertas especies florícolas, como por ejemplo: la rosa, gérbera, trachelium; se busca principalmente obtener la producción con anterioridad o posterioridad a la época normal de cosecha de campo. De esta manera se puede lograr una mejor cotización en los mercados pues se logra un abastecimiento más controlado.

Todas las plantas tienen para su desarrollo vegetativo exigencias muy concretas en cuanto a temperatura y otros parámetros; por ello, su cultivo debe hacerse en aquellas épocas del año en que se dan esas condiciones.

Si se instalan los cultivos en un medio en el que la temperatura ambiente, su humedad relativa y su concentración de anhídrido carbónico se mantienen dentro de un rango adecuado, estos crecerán con toda normalidad. Con esta expectativa aparecieron los invernaderos con control climático automático, con el objeto de obtener el clima artificial correcto para cada cultivo.

Conviene aclarar aquí que el control automático de un medio ambiente no es todo. Necesariamente se logran mejores resultados si al control automático se añaden otras prácticas y conceptos tecnológicos que inciden marcadamente en el comportamiento de cada tipo de cultivo. Dichos conceptos son: riego localizado, fertirrigación, épocas de siembra, densidad de plantación, condición de las plantas, uso de cultivares adecuados, especies de buena aptitud para ser cultivados en invernadero, control de plagas y enfermedades; cada uno con su sistema de control propio. Solo así se puede superar cualitativa y cuantitativamente las producciones obtenidas de cultivos tradicionales.

Otra de las ventajas es el aumento significativo de la seguridad de la cosecha, limitando la posibilidad de pérdidas por adversidades climáticas como sequías, heladas, vientos, lluvias intensas, granizos; permitiendo asimismo, obtener mayor proporción de productos de alta calidad.

#### 1.4.1.1 Eficiencia y Funcionalidad.

Aunque se han desarrollado a través del tiempo muchas formas de proteger parte o todo el ciclo del cultivo, los invernaderos son el medio más adecuado para lograr los objetivos antes mencionados porque cuenta con niveles razonables de funcionalidad y eficiencia.

La eficiencia y funcionalidad son las dos características principales que deben poseer los invernáculos para hacer de ellos un medio verdaderamente idóneo para el arte de cultivar flores.

Por eficiencia se entiende a la capacidad para acondicionar algunos de los principales elementos del clima dentro de límites bien determinados y de acuerdo con las exigencias fisiológicas de los cultivos.

La funcionalidad es el conjunto de requisitos que permiten la mejor utilización del invernadero, tanto desde el punto de vista técnico como económico.

#### 1.4.1.2 Ventajas y limitaciones del cultivo protegido

Como ventajas se pueden citar:

- Posibilidad de adelantar (precocidad) o atrasar (tardividad) para obtener cosechas fuera de época.
- Mayores rendimientos (3 a 5 veces mayor que los obtenidos en el campo).
- Mayor calidad en la producción (limpieza, sanidad, uniformidad).
- Uso más eficiente del agua.
- Facilidad para la organización de las actividades del establecimiento.
- Mejores condiciones para emplear criterios de control integrado de plagas.
- Posibilidad de realizar más de un cultivo al año.

Entre las desventajas y limitaciones se puede mencionar:

- Inversión inicial alta. La combinación de alta inversión en una economía como la nuestra en la que el costo del crédito es muy alto, dificulta su implementación.

- Diferencias en el paquete tecnológico aplicable a cada situación.
- El sistema de cultivo protegido genera o agudiza el efecto de algunos problemas como, por ejemplo, la concentración de sales en el suelo o la mayor incidencia de algunos patógenos del mismo.

#### 1.4.1.3 Nivel de CO<sub>2</sub> en un invernadero

La concentración normal de CO<sub>2</sub> en el aire es de 300 ppm, o sea, 300 mg en un Kg de aire. Este nivel se mantiene prácticamente estable. Sin embargo, en un ambiente cerrado, como el de un invernadero, debido a que las plantas por la noche sólo respiran (desprenden CO<sub>2</sub>), el nivel puede alcanzar las 500 ppm. Con la luz, las plantas comienzan la fotosíntesis y el nivel de CO<sub>2</sub> desciende hasta valores en el orden de 50 a 100 ppm.

Por ello, en los momentos de máxima disponibilidad de luz, es primordial que exista suficiente CO<sub>2</sub> en el medio ambiente para que la planta pueda, aprovechando la alta energía luminosa, realizar la fotosíntesis.

### 1.5 CONTROL CLIMÁTICO

En Latinoamérica generalmente se trabaja con invernaderos con aireación cenital fija y con cortinas a los lados con accionamiento manual.

La *ventilación cenital* se refiere a las tomas de aire en los puntos más altos del invernadero, lo que implica que el aire incide verticalmente en los cultivos. Estos comúnmente poseen aperturas o hendiduras que permiten el ingreso de aire desde el exterior. Ver figura 1.4.

Las *cortinas* en cada lado y a lo largo del invernadero ayudan a tener una incidencia directa de aire desde el exterior hacia la planta misma en cultivo, Se los monta sobre brazos móviles que son accionados por un motor. Al tener flujo de aire ingresando por las dos tomas laterales, se tiene ventilación dentro del invernadero pero no con la misma concentración y densidad. Para mejorar la concentración de aire y tener una distribución uniforme del mismo en toda el área de incidencia se colocan *ventiladores* que permiten hacer circular el aire para



tratar de mantener las mismas condiciones dentro de toda la extensión del invernadero. Se puede controlar su velocidad para obtener mayor o menor ventilación.

La altura y colocación de los ventiladores depende de la especie a cultivarse, pero, por lo general se los coloca a una altura de 1.5 m con respecto al nivel de los tubos de calefacción en las secciones de cultivo.

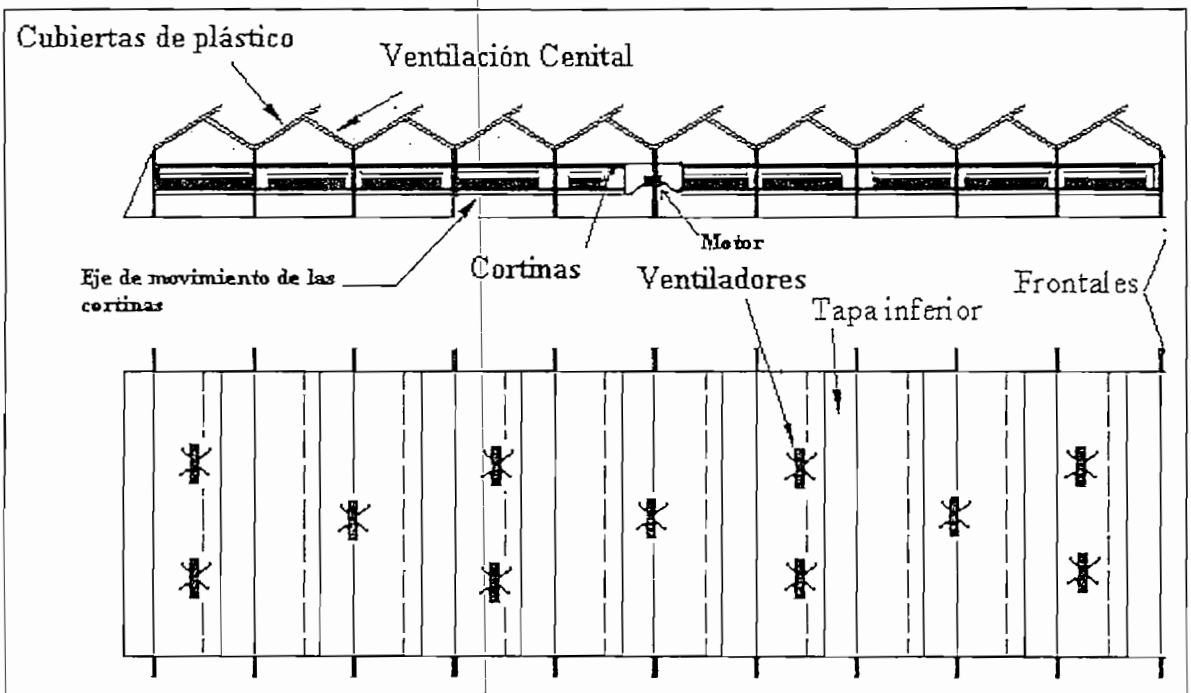


Figura 1.4 Vistas y partes de un invernadero

Cuando se habla de controlar automáticamente el clima dentro de un invernadero, las variables a controlarse son:

- Las entradas de aire, esto es: la ventilación cenital, cortinas y ventiladores.
- La temperatura y, consecuentemente, la calefacción, con gas, petróleo o quemando materia orgánica.
- El suministro de anhídrido carbónico, puro o quemando gas.
- Pantalla térmica.

Un *sistema de calefacción* es un conjunto de aparatos destinados a calentar una parte o todo un invernadero. Tiene una incidencia directa sobre la planta en cultivo, al controlar su temperatura de acción. El *suministro de CO<sub>2</sub>* forma parte de los sistemas de calefacción. Cabe señalar que no todas las plantaciones poseen sistemas de calefacción por sus altos costos de implementación.

Finalmente se tienen las *pantallas térmicas* que permiten la filtración de mayor o menor luz externa. Estas también se colocan sobre ejes móviles y se las mueve según los requerimientos de luz del invernadero.

Para la acción interrelacionada de cada uno de los mencionados sistemas se necesita de sensores y actuadores que permitan corregir los valores obtenidos. Aquí ha sido interesante observar la relación que existe entre la temperatura, la humedad relativa y la concentración de anhídrido: al extraer calor del invernadero se baja también la humedad relativa y la concentración de CO<sub>2</sub>.

Cuando se quiere controlar el clima en un invernadero, los sensores juegan un papel muy importante. Un termómetro y un termógrafo dan la información para abrir o cerrar ventanas o cenitales; un sensor de humedad decidirá si se realiza un riego localizado o total, y un medidor de CO<sub>2</sub> permitirá controlar su concentración, abriendo o cerrando sus ductos de desfogue. Para que los sensores cumplan más eficientemente su función, es necesario que se los coloque en el lugar apropiado dentro del invernadero, por ejemplo, el sensor de temperatura debe colocarse en el camino de una corriente de aire continua, aplicada por un pequeño ventilador, para de esta forma garantizar que su medición refleja la verdadera temperatura que en verdad existe en el invernadero. Se debe recordar que se trata de medir la temperatura del medio ambiente dentro del invernadero y no el ambiente junto a las hojas, que, por ejemplo, en un día caluroso, sin movimiento de aire, puede llegar fácilmente a diferenciarse en 7 grados de la temperatura ambiental. Esto ocurre principalmente en invernaderos bajos o pequeños donde el calor se acumula. Por otro lado, cuando se trabaja en un invernadero cerrado, en épocas lluviosas se desea eliminar la humedad y en épocas calurosas eliminar el calor.

La calefacción se fija de acuerdo al tipo de cultivo, por ejemplo, en algunas variedades se descubrió que una calefacción alternada cada dos horas aumentaba su producción, mientras que en otras, como las gérberas, se debe tener un flujo de calor constante.

El Anhídrido carbónico ( $\text{CO}_2$ ) en el aire exterior es de 340 ppm y en el invernadero este nivel desciende, se mencionó, por el consumo en el proceso fotosintético. Se ha llegado a determinar que al aumentar el nivel de anhídrido carbónico a 1200 ppm durante varias horas en un invernadero, teniendo el resto de factores influyentes<sup>3</sup> en óptimas condiciones, la producción sube en alrededor de un 35%. Un alto nivel de  $\text{CO}_2$  ayuda principalmente a evitar que aparezcan ramas ciegas, acorta el ciclo de producción e induce la aparición de básales.

El enriquecimiento de anhídrido carbónico se realiza liberando  $\text{CO}_2$  puro o quemando gas (butano, propano o metano). Si se quema gas, se tiene que asegurar una buena combustión para evitar la creación de etileno que ocasiona daño al cultivo. Para ello, un sistema de  $\text{CO}_2$  debe incluir sensores que detecten la concentración del CO hasta el nivel en que resulta dañino para la planta.

El enriquecimiento de anhídrido carbónico comienza por la mañana, unos minutos antes de la salida del sol y se lo mantiene todo el tiempo que el invernadero pueda mantenerse sin que la temperatura alcance los 29° C. En caso de bajar la temperatura, baja la concentración de  $\text{CO}_2$ , por lo que en la tarde se vuelve a dar dosis de anhídrido carbónico, mientras haya luz.

Para aumentar los niveles de  $\text{CO}_2$  en los invernaderos, los métodos pueden ser:

1. Aumentar la ventilación para aprovechar directamente el  $\text{CO}_2$  de la atmósfera,
2. Recircular los gases procedentes de la combustión de la calefacción, o
3. Inyectar  $\text{CO}_2$  puro previo almacenamiento en bombonas.

---

<sup>3</sup> agua, luz, fertilización etc.

Independientemente del sistema elegido, se recomienda la instalación de sensores que permitan la detección del gas - sobre todo sus niveles altos -, otros para detectar gases tóxicos -como el azufre y el CO- procedentes de la combustión y elegir un sistema de difusión que permita la mayor uniformidad posible dentro del cultivo.

### 1.5.1 COSTOS DE LOS MÉTODOS PARA ENRIQUECIMIENTO CON CO<sub>2</sub>.

A continuación se evalúan los métodos que existen para enriquecer un ambiente con CO<sub>2</sub>, para tener argumentos sólidos para seleccionar el más conveniente.

Al evaluar el método de mejorar la ventilación en el invernadero debe considerarse que los medidores de CO<sub>2</sub>, instalados bajo la cubierta, verán afectados sus medidas por la circulación de aire en dicho ambiente; es decir, el nivel de ventilación afectará los valores de CO<sub>2</sub> medidos. De aquí que, ventilar más o menos será la decisión final del técnico de la explotación, quien en forma experimental determinará los caudales correctos. En todo caso, por su rentabilidad, el método de control de la ventilación es el más económico porque no se necesita mucho equipo adicional para implementarlo. Sin embargo, este método tiene la gran desventaja de que depende de la cantidad de CO<sub>2</sub> que, en forma natural, existe en la atmósfera.

En el caso del método de enriquecimiento del CO<sub>2</sub> a partir de los gases de la combustión de la calefacción, obviamente se tiene la gran ventaja de que se puede trabajar con concentraciones de CO<sub>2</sub> mayores a las que se tiene en forma natural en la atmósfera. Pero, se deben evaluar los inconvenientes siguientes:

1. Se debe contar con un sistema de calefacción pues, como ya se señaló, el sistema de generación del CO<sub>2</sub> es parte del primer sistema.
2. Contando con el sistema de calefacción, hay que tomar en cuenta que el enriquecimiento se lo debe realizar dentro del ciclo orgánico de la planta; esto es, desde las 6h00 hasta las 18h00.
3. Finalmente, el funcionamiento del caldero es cíclico y no-continuo para

satisfacer los requerimientos de temperatura del proceso en general. Esto trae como consecuencia que se entreguen cantidades variables de CO<sub>2</sub>: un valor cuando el caldero esté en funcionamiento y otro cuando esté apagado.

De todas formas, la extracción del gas carbónico procedente de los generadores de calor es sencilla y, un dato muy interesante, se ha llegado a comprobar que la instalación del dosificador de CO<sub>2</sub> a la salida del caldero, ayuda a mejorar el rendimiento del mismo.

Cabe aclarar que la extracción del CO<sub>2</sub> desde el caldero solamente es posible si es que se emplea como combustible gas natural (rico en metano), o gas licuado (butano o propano). El CO<sub>2</sub> se obtiene, al quemarse el combustible dentro del caldero para el calentamiento de grandes masas de agua, se toma el vapor emanado pasándolo por un condensador de gas que baja su temperatura a un rango aceptable y que permite llevar este vapor con una alta concentración de CO<sub>2</sub> hacia los invernaderos.

La inversión inicial de estos sistemas es alta por lo que se necesita de grandes capitales para su implementación.

Si se desea utilizar CO<sub>2</sub> líquido, hay dos inconvenientes: este gas no existe en el país, en las cantidades requeridas, y, si se importa resulta muy caro. Esto limita el uso de este método sólo para aquellos cultivos altamente rentables. La mayor ventaja de utilizar esta fuente de suministro es la ausencia de impurezas perjudiciales para el cultivo.

A continuación, con el propósito de conocer el sistema implementado se deberá describir todas y cada una de las partes que comprenden al sistema de control de CO<sub>2</sub> en mención.

## 1.6 DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE CO<sub>2</sub> DE LA COMPAÑÍA HILSEA

La producción de plantas en las florícolas con sistemas automáticos se hace imprescindible en los últimos tiempos, donde la alta competencia, así como la calidad del producto entregado son parámetros que hoy en día se logra obtener con el uso de la tecnología. De esta manera, en los últimos dos años la Compañía "Hilsea Investments" ha implementado un sistema automático que controla distintas variables dentro de un invernadero, entre ellas, el sistema de control de CO<sub>2</sub>.

El sistema de CO<sub>2</sub> en la empresa fue implementado por sus propios creadores, la compañía holandesa Van Dijk, la misma que al establecerse como una entidad comercial vió la necesidad de implementar este sistema como complementación a un sistema de calefacción previamente construido. Así, por el año de 1976, Van Dijk diseñó un sistema que le permitió aprovechar los gases que salen de un caldero, en donde, al bajar la temperatura del vapor de agua emanado, lograron extraer un vapor con una mayor concentración de CO<sub>2</sub>. Con esto, el nuevo dispositivo, que con el tiempo se denominó condensador de gas, fue incluido como el principal componente de un sistema de dosificación de CO<sub>2</sub> hacia los invernaderos..

Adicionalmente, el uso del condensador de gas ayuda a mejorar el sistema, pues se observa un ahorro de consumo de energía.

Luego de observarse la ventaja que presenta el condensador de gas, cuando baja la temperatura del compuesto vapor-CO<sub>2</sub>, se vió la necesidad de implementar un sistema automático que lo controle.

El Sistema de Control de CO<sub>2</sub> que se concibió se muestra en la Figura 1.5 y consta de las partes siguientes:

1. La generación, que comprende el condensador de gas (vapor).
2. La distribución que comprende las unidades dosificadoras, hasta el flujo del gas hacia los bloques.
3. Sistema de control que comprende los sensores, las válvulas de control y tarjeta de control en la PC.

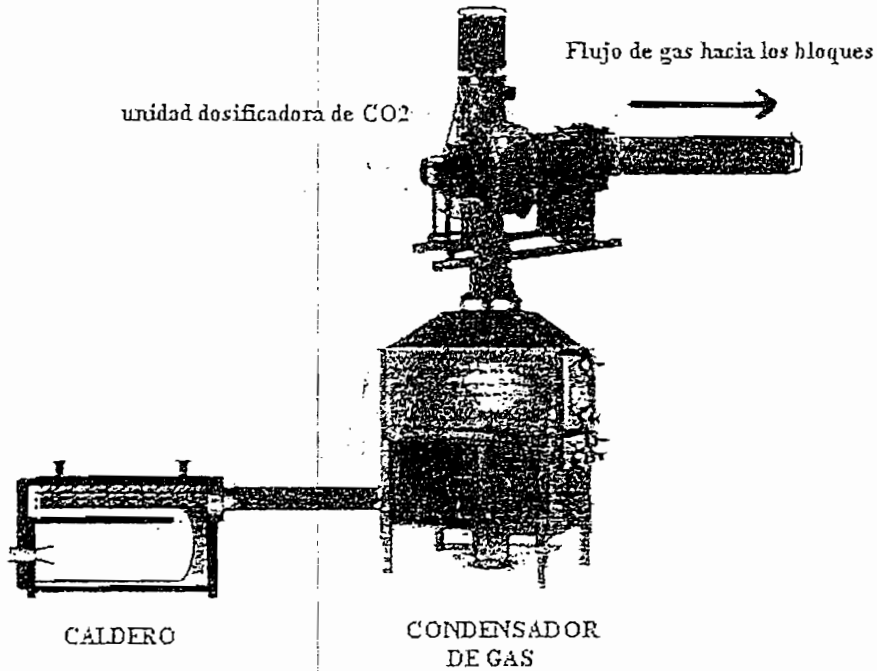


Figura 1.5 Componentes del Sistema de Control de CO<sub>2</sub>

### 1.6.1 CONDENSADOR DE GAS

El condensador conceptualmente debe funcionar así: permitir la mezcla del vapor con agua fría de tal forma que ésta última pueda extraer el calor del vapor y provocar su condensación. El condensador instalado en la empresa Hilsea es de tipo superficial y consiste de un depósito atravesado por un haz de tubos por los que circula el agua fría. De esta manera, el vapor que irrumpe en el depósito es refrigerado por los tubos y se condensa.

El proceso de enfriamiento del agua que se da en las tuberías de calefacción es aprovechado por el condensador para bajar la temperatura del vapor de agua y lograr una adecuada circulación de este vapor hacia los invernaderos.

Cuando los calderos tengan tomas de combustible de diesel<sup>4</sup> y gas, los condensadores de gas deben presentar facilidades de bypass en su diseño, el cual al activarse con el carburante adecuado, permite el paso del flujo del vapor a través del condensador. Además, si el residuo de calor logrado en la condensación no puede ser reutilizado, el flujo de vapor de agua permite que este sea descargado a través del bypass hacia la chimenea y de aquí al medio ambiente. En casos donde el diesel pesado o aceite liviano es quemado, por un prolongado período, no es posible usar un bypass.

La velocidad del vapor de agua, generado a través del condensador es entregada por el ventilador del quemador. Al mismo tiempo se utiliza como agitador de aire para que fluya dentro del caldero y de esta forma, llevar el vapor producido hacia el condensador. La presión de aire entregada por el ventilador tiene que vencer el resultado de pérdida de presión de aire por la acción del bypass. Por consiguiente, la capacidad del ventilador, es primordial en la selección del condensador del flujo de gas.

Los dispositivos a utilizarse para la protección del sistema del condensador son:

- Presóstato.
- Interruptores de fin de carrera.
- Bombas de circulación.
- Termostato.

---

<sup>4</sup> El diesel es un combustible que no presenta las propiedades físicas para ser aprovechadas en su combustión. El humo que produce es negro, con un alto contenido de monóxido de carbono y perjudicial para las plantas.



- Electroválvulas.

La presión baja en el condensador es protegida por un switch de presión o **presóstato**. Si el flujo de vapor no puede ser llevado a través del condensador, se debe abrir la válvula en la chimenea o en el bypass y cerrar la válvula de entrada.

En los casos donde los quemadores duales usan gas o diesel, la posición de las válvulas deberían estar protegidas. Esto se consigue empleando uno o más **interruptores de final de carrera**. Si se usa diesel como combustible, el condensador debe cerrarse.

Para la circulación del agua fría dentro del condensador se cuenta con una **bomba de circulación**. Esta debe tener la capacidad adecuada para entregar flujo suficiente como para evitar un sobrecalentamiento dentro del condensador.

Para vigilar la temperatura hay un **termostato** de máxima temperatura, al igual que otras protecciones que son incluidas durante el funcionamiento de los calderos. El agua fría del circuito del condensador, debe circular con una presión adecuada por la válvula, para no sobrepasar el límite de sobrepresión.

Es importante mencionar que el condensador no tiene partes móviles, excepto en los casos donde se utilizan **electroválvulas**. El condensador está herméticamente sellado y provisto de una tapa para realizar chequeos y limpieza.

El condensador se muestra en la Figura 1.6, y a continuación se describe la operación e instalación de los condensadores usados en la empresa Hilsea, y sus partes más importantes.

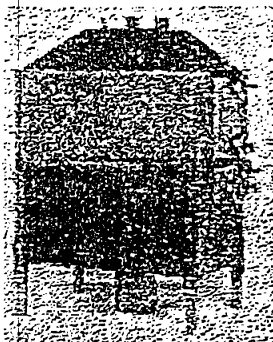


Figura 1.6 Condensador de flujo de gas (vapor de agua y CO<sub>2</sub>)

#### 1.6.1.1 Operación

En el condensador de flujo de vapor de agua, el vapor que está a una temperatura de 250 °C es enfriado por el agua que ingresa a una temperatura menor hasta valores entre los 30 °C y 60 °C. Al bajar la temperatura del vapor se consigue aumentar la concentración de CO<sub>2</sub>.

A manera de referencia cabe señalar que la resolución EC<sup>5</sup> con número 97/23/EG, de 29 de Mayo de 1997, concerniente a equipos de presión dice que: "Un condensador de gas no requiere certificación EC cuando trabaja a una temperatura máxima de operación de 95° C, si el asociado, el vapor de agua, tiene una presión tan baja como 0.5 bar". Esta condición es cumplida por el condensador de Hilsea. Por otra parte, el sistema de protección del condensador cumple con las regulaciones de seguridad VISA, para instalaciones de gas-fuego, con una capacidad en exceso de 640kW (Favor ver anexo A-4).

La operación mecánica que realiza el condensador de CO<sub>2</sub>, se la puede describir como:

---

<sup>5</sup> EC = condensadores de presión. EG = especificaciones generales de presión.

- *Refrigeración a bajo punto* cerca de los 57 °C. En esta fase la diferencia en temperatura entre el vapor de agua y el agua condensada es comparativamente grande. Durante esta etapa se requiere de pequeñas áreas de intercambio de calor; para este caso se dispone de pequeños tubos donde la energía recobrada máxima, expresada como eficiencia del caldero, es del 5 al 6%.
- *Refrigeración a bajo punto* cerca de los 30 °C. En esta fase es pequeña la diferencia de temperatura entre el vapor y el agua. Para optimizar la transferencia de calor se requiere de una gran área de intercambio de calor; en este caso el área presente está entre los tubos de agua y el caparazón del condensador. La eficiencia del caldero que se consigue es de 7% a 8%.

Estos resultados, expresados en porcentaje de eficiencia del caldero, son indispensables para planear un mejor aprovechamiento del flujo máximo de gas condensado, para la optimización de la eficiencia del caldero y del condensador. Tener valores del 13 al 14% de energía recuperable, implica un uso al máximo del condensador.

Dentro del condensador de flujo de CO<sub>2</sub> se tienen válvulas de distribución y válvulas de dos posiciones, cada una con una función esencial que a continuación se describe.

#### *1.6.1.1.1 Operación de la válvula de distribución.*

El condensador de flujo de gas CM<sup>6</sup> y CMM tiene una válvula de distribución que tiene como función dejar pasar el vapor de agua hacia el interior del condensador.

Cuando la palanca A, que controla la tapa de paso, está en la posición alta, el bypass está cerrado y el condensador está abierto. Bajo estas circunstancias se dice que la palanca está entonces enclavada en "E1". Si la palanca está en la posición baja, el condensador está cerrado y el bypass está abierto. La palanca está entonces enclavada en "E2". Favor ver anexo A.

---

<sup>6</sup> CM = condensador mecánico. CMM = condensador máximo mecánico

### 1.6.1.1.2 *Válvulas de dos posiciones*

La válvula de dos posiciones tiene como finalidad desviar el vapor de agua hacia el condensador "C", o hacia el bypass "D". Para esto posee dos compuertas que al girar sobre un soporte desvían el vapor de agua.

Cuando las palancas que controlan la posición de las compuertas están en posición vertical, el condensador esta cerrado y el bypass está abierto. Si las palancas están en posición horizontal, el condensador está abierto y el bypass esta cerrado.

## 1.6.2 UNIDADES DOSIFICADORAS DE CO<sub>2</sub>

Como ya se indicó, las unidades dosificadores de CO<sub>2</sub> llevan el vapor emanado por el condensador hacia la red de tuberías de distribución en dirección a los invernaderos.

El flujo de vapor, al ser transportado por las tuberías, pierde calor, produciendo de esta forma una condensación extra del vapor y aumentando la concentración de CO<sub>2</sub> presente dentro del vapor.

Para conseguir una adecuada alimentación que no resulte perjudicial a las plantas si hay una alta concentración de monóxido de carbono (CO), es recomendable utilizar un sensor de CO a la entrada a los dosificadores, para hacerle conocer al sistema de protección que se encargue de controlar la concentración de CO a cantidades inferiores a las 20 ppm.

Si se sobrepasa el límite, el sistema de protección no permite el paso de vapor hacia las tuberías, lo desvía hacia la chimenea y por esta al medio ambiente. El exceso de CO en el vapor es producido por una mala mezcla de aire y combustible<sup>7</sup> en el quemador, provocando de esta manera mala combustión en el caldero que entrega cantidades no adecuadas de CO en el vapor. Por efecto de esta falla, se debe esperar un tiempo de 2 minutos para que el sistema pueda regresar a su estado normal. Si una lectura nueva da niveles inferiores a los

<sup>7</sup> El combustible presente es gas líquido a presión ó comúnmente llamado GLP.

permitidos, se vuelve a permitir el flujo del  $\text{CO}_2$  hacia los invernaderos.

No basta con permitir el flujo del vapor, sino que se debe dotarle de velocidad para que pueda llegar hasta el último de los invernaderos; para ello, a la entrada del sistema se tiene un sistema ventilador- motor que se encarga de aumentar la concentración de  $\text{CO}_2$  en el medio ambiente de las plantas.

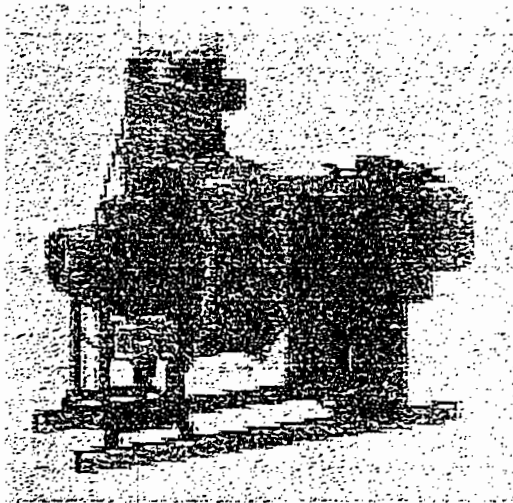


Figura 1.7 Unidad dosificadora de  $\text{CO}_2$

El sistema descrito se lo observa en la Figura 1.7 y más características de trabajo en el anexo A-8.

### 1.6.3 CONTROLADOR DE $\text{CO}_2$

En modo automático los dosificadores son activados por un computador, circuitos de mandos eléctricos y por un controlador (tarjeta electrónica de control) de  $\text{CO}_2$ .

El controlador de  $\text{CO}_2$  permite entregar la cantidad requerida de concentración del gas en cada uno de los lugares cerrados controlados: para esto, controla la

posición de las servoválvulas de distribución o simplemente, apaga el sistema. Si los valores de  $\text{CO}_2$  medidos son bajos, el controlador permitirá que se alimente vapor; si los valores son altos, las unidades dosificadoras son interrumpidas y apagadas.

Además, en la tarjeta del controlador esta previsto un conector para la señal del sensor de  $\text{CO}$  mencionado anteriormente.

Una de las partes importantes a describirse es el sistema válvula-motor, pues será motivo de control de este trabajo.

#### 1.6.3.1 Sistema Electroválvula-motor

Consta de su propio circuito de acondicionamiento el mismo que, a su salida, entrega al resto del sistema dos señales de voltaje que corresponden al estado de la electroválvula de escape. El circuito, a su vez, recibe señales desde una electroválvula instalada en la entrada de los dosificadores. Esta tiene un dispositivo que monitorea la posición de cerrado, desde el comienzo de los períodos de ventilación del quemador. Además, esta electroválvula permite monitorear el comienzo de operación de las unidades dosificadoras de  $\text{CO}_2$ , algo necesario pues solo mirándola se puede afirmar si las unidades están funcionando o no. Cuando las unidades de dosificación de  $\text{CO}_2$  están fuera de operación, la electroválvula debería cerrarse.

A continuación se describe el sistema de distribución principal del  $\text{CO}_2$  donde consta el medidor-analizador de  $\text{CO}_2$  que forma parte del presente trabajo

#### 1.6.4 SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN DE $\text{CO}_2$

Comprende toda la red de tuberías, a la salida de los dosificadores, que conduce el  $\text{CO}_2$  hacia los invernaderos. Como parte de este sistema se tiene: las servoválvulas de control de flujo y el sistema de medición de la cantidad de concentración del anhídrido carbónico.

Las tuberías de PVC instaladas, a medida que se alejan del condensador van disminuyendo de diámetro; estas comienzan con un diámetro de tubería principal de 500 mm hasta disminuir a tuberías secundarias de acceso a los invernaderos de 200 mm.

En la derivación desde una tubería principal a una secundaria se tiene una servoválvula de control de flujo del CO<sub>2</sub> colocada a la entrada de cada invernadero. El control es efectuado mediante señales de mando del computador a través de dispositivos de fuerza.

Finalmente, para cerrar el lazo de control se debe contar con aparatos que proporcionen la medición de los valores requeridos de CO<sub>2</sub> en campo. Para esto se tienen analizadores que entregan señales que son convertidos en valores de voltaje adecuados para ser conectados a la tarjeta de control, ó directamente a un computador principal.

El sistema que se describe en la Figura 1.8, describe los componentes ya descritos en el orden siguiente:

- Unidades dosificadoras de CO<sub>2</sub>.
- Servoválvula de control de CO<sub>2</sub>.
- Actuador de CO<sub>2</sub>.
- Conducto de CO<sub>2</sub>.
- Analizador-medidor de CO<sub>2</sub>.
- Computador principal.

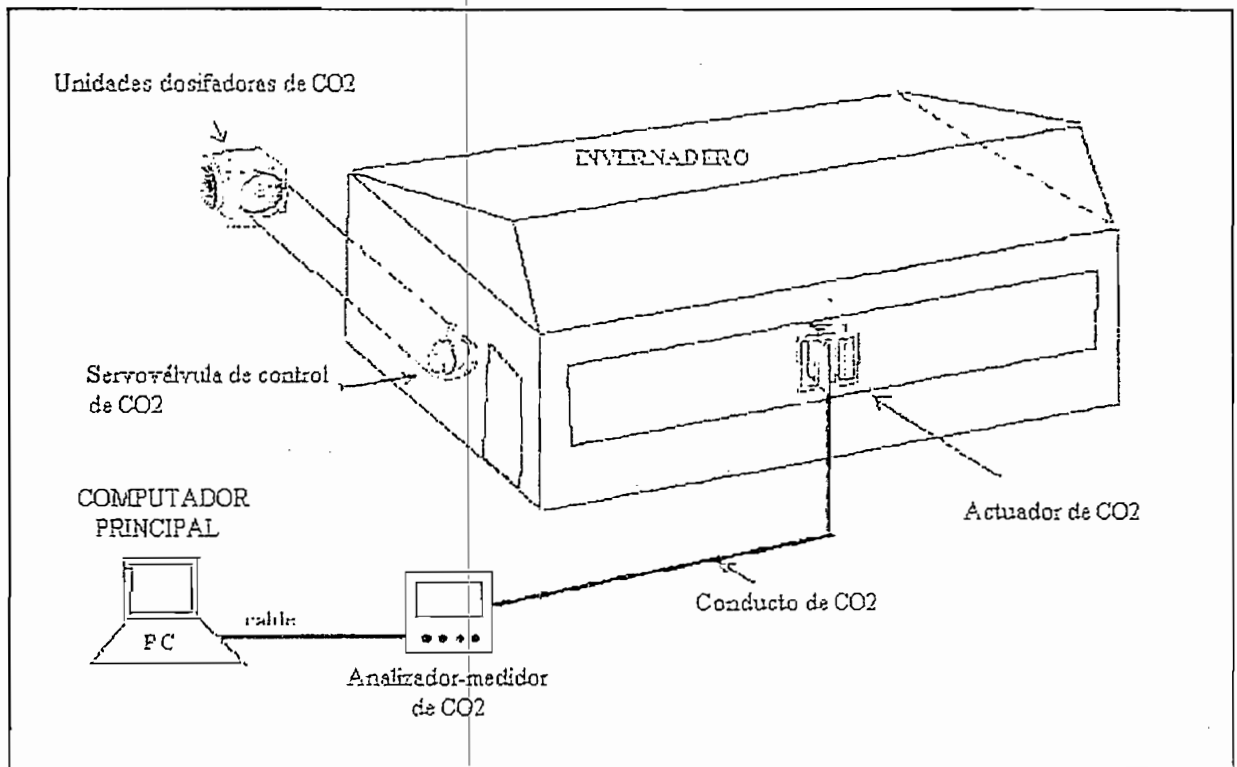


Figura 1.8 Sistema de distribución de CO<sub>2</sub> para un invernadero

A continuación, se describe el medidor-analizador de gases que ayuda a obtener las lecturas correctas de concentración de CO<sub>2</sub> dentro de cada uno de los invernaderos, poniendo hincapié en la descripción del principio físico en el cual esta basado.

#### 1.6.4.1 Medidor-analizador CO<sub>2</sub> infrarrojo

El medidor utilizado en la florícola "Hilsea" fue específicamente diseñado para efectuar mediciones de CO<sub>2</sub> del aire que se encuentra dentro de un invernadero.



Este aparato fue concebido gracias al trabajo conjunto de Siemens y Fujitsu Co., quienes han desarrollado gran variedad de medidores basados en diferentes principios físicos de medida, según las necesidades del mercado. El medidor emplea el método de medida NDIR ( absorción de los rayos infrarrojos no dispersos) como base de un sistema modular óptico—electrónico de apoyo.

Básicamente, el principio NDIR se refiere a la absorción por resonancia de las frecuencias cuya longitud de onda coincide con los niveles energéticos de las moléculas del gas a medirse. Para el uso de este principio en los medidores de gas se debe contar con un emisor de luz que emita una radiación con el mismo nivel energético del gas a analizarse; lo cual implica conocer las longitudes de onda de cada uno de los gases. En el caso presente, el anhídrido carbónico absorbe una frecuencia con una longitud de onda alrededor de los 10  $\mu\text{m}$ . La idea es que si se irradia con la luz del emisor a un gas (que contendrá al que se desea medir), este absorba tanta energía como moléculas del gas que interesa estén presentes en la muestra. Para emplear este principio de un modo eficiente, se ha desarrollado un medidor que consta de los componentes fundamentales siguientes (tal como se muestra en la Figura 1.9): emisor, cámara de análisis y receptor.

El cuerpo emisor envía una luz (con una frecuencia específica) que atraviesa la cámara de análisis en su camino hacia el receptor. Esta luz, al ser interrumpida por la presencia del gas en la cámara, cambia sus niveles energéticos, producto de la absorción ó filtración producida por el gas a ser medido. Por lo tanto, las variaciones del nivel de energía que capte el receptor dependerán de la cantidad de gas a ser medido en la muestra. Se puede decir que el gas entra en resonancia con la frecuencia de la luz emitida. Si dentro de la cámara de análisis no existe el gas a ser medido, las radiaciones producidas por el cuerpo emisor llegan con igual energía al cuerpo receptor; caso contrario, si hay presencia de gas deseado dentro de la cámara de análisis, esta energía se reduce y llega en menor cantidad al receptor.

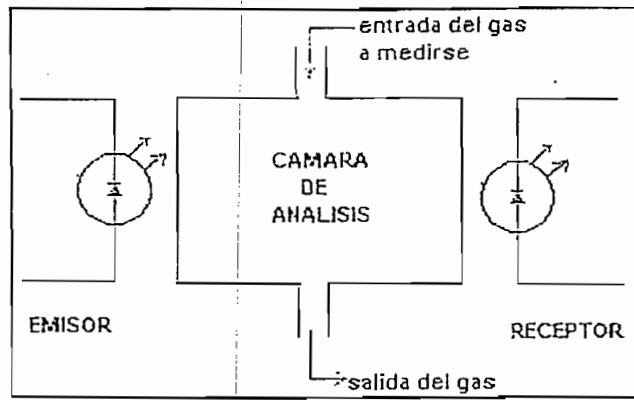


Figura 1.9 Esquema del sistema de medición.

La energía captada se muestra en la Figura 1.10 como la "Profundidad" del gas en función de la frecuencia molecular. La energía absorbida por el efecto resonante se debe al salto de los átomos de las moléculas de  $\text{CO}_2$  de un nivel energético a otro; mientras mayor sea el número de moléculas a medirse, mayor será la energía absorbida.

Para utilizar el principio físico NDIR, los analizadores de gas utilizan longitudes de onda alrededor del campo espectral del infrarrojo intermedio, entre las longitudes  $2,5 \mu\text{m}$  y  $12 \mu\text{m}$ . Todos los gases, a excepción de los gases monoatómicos y de los gases simétricos como  $\text{N}_2$ ,  $\text{O}_2$ ,  $\text{H}_2$  etc., poseen tal absorción espectral.

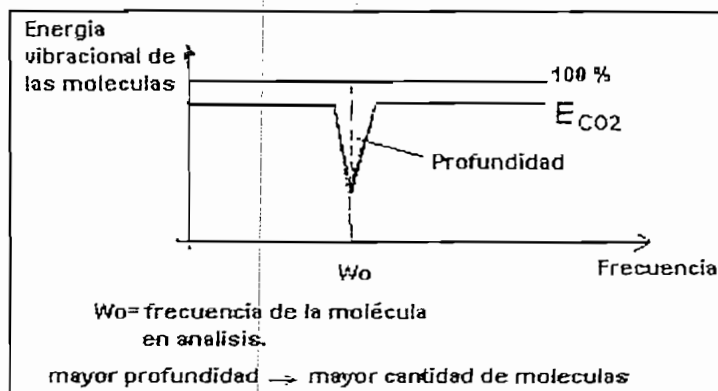


Figura 1.10 Energía vibracional de las moléculas en función de la frecuencia

El medidor utilizado en la florícola Hilsea se muestra en la Figura 1.11. Dispone de una fotorresistencia alimentada por una corriente continua generando una radiación infrarroja de banda ancha. Esta se separa en 2 haces de igual intensidad en el divisor de radiación señalado como número "1". Un obturador "2", accionado por un motor, modula estos dos haces en contrafase antes de que penetren a la cámara de análisis y de referencia "4" y "5", respectivamente. El obturador es un disco con un agujero que deja pasar la luz cada cierto tiempo dependiendo de la frecuencia de giro del disco. Esta modulación se realiza para mejorar las lecturas de concentración del gas y mejorar la relación señal/ruído del instrumento.

En la cámara de análisis (4) se inyecta el gas a medir. En la cámara de referencia no se inyecta gas alguno y servirá por lo mismo como una referencia para determinar la cantidad de absorción que se produjo en la cámara de análisis. Si en la cámara de análisis circula el gas a ser medido, una parte de la radiación infrarroja es absorbida.

Saliendo del compartimiento de medida, ambos haces de rayos inciden en el receptor "6", el cual está compuesto de 4 cámaras: dos cámaras de medida, anterior y posterior y dos cámaras de referencia, también anterior e inferior. Estos rayos incidentes contienen diferente cantidad de energía atenuados previamente en las cámaras de análisis y referencia.

Las cámaras de medida y de referencia del receptor "6", anterior y posterior, respectivamente, están unidas entre sí a través de canales y separadas por la membrana del condensador "7". Como ya se dijo, si por la cámara de análisis de la cubeta de medida circula la componente a medir activa al infrarrojo, una parte de la radiación infrarroja es absorbida. La radiación infrarroja atenuada de esta forma penetra en la cámara de medida anterior del receptor. El equilibrio de la radiación de medida y de referencia, ajustado previamente con diafragmas, se perturba.

La diferencia de energía producida así en el receptor origina con la modulación oscilaciones sincrónicas de presión entre la cámara de medida y de referencia del receptor.

Estas oscilaciones de presión, generadas conforme el gas a medirse ingresa por la barrera capilar, son transformadas, por el condensador de membrana mediante el desplazamiento de la membrana metálica altamente sensible frente al contraelectrodo, en variaciones de capacidad.

Debido a que el condensador de membrana está conectado a una tensión continua por medio de una alta resistencia, el desplazamiento de la membrana produce una variación de corriente, que se transforma, mediante el procesamiento electrónico respectivo, en una señal proporcional correspondiente a la concentración medida, quedando a disposición como una señal de salida continua, normalizada y separada galvánicamente a efectos de medida y control.

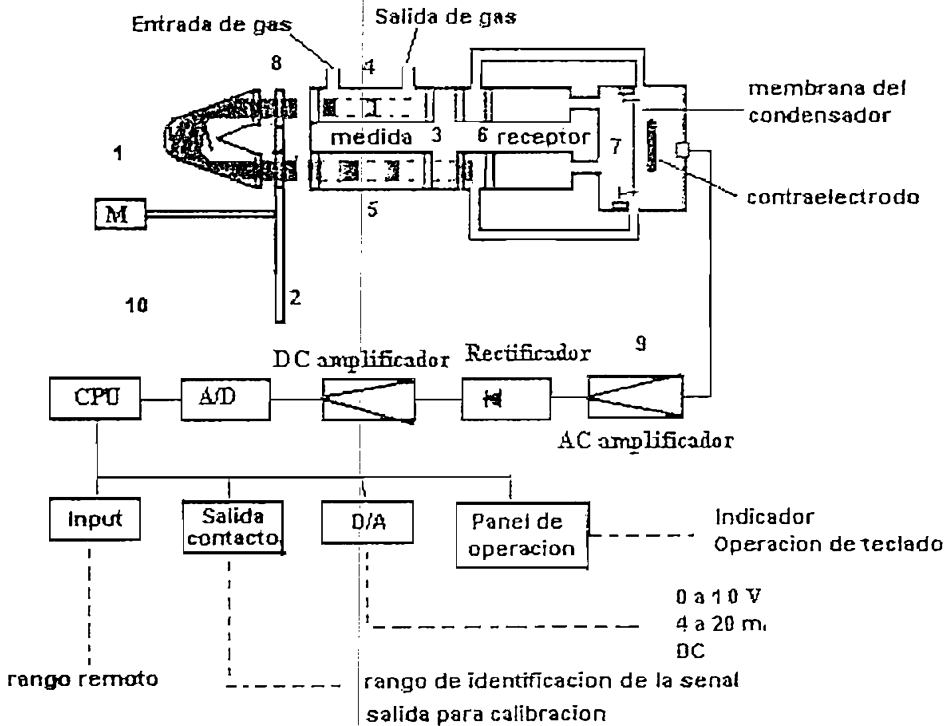


Figura 1.11 Esquema del analizador-medidor de gases

Los siguientes son los elementos del analizador.

1. Emisor de infrarrojos con divisor de radiación.
2. Obturador accionado por motor con diafragma.
3. Cubeta de medida.
4. Cámara de análisis.
5. Cámara de referencia.
6. Receptor de 4 cámaras.

Arriba: cámara de medida anterior y posterior.

Abajo: cámara de referencia anterior y posterior.

7. Condensador de membrana.
8. Barrera fotoeléctrica para rectificación en función de la fase.

Ciertas características del medidor de CO<sub>2</sub> empleado valen mencionarse:

- La influencia de gases perturbadores puede suprimirse de forma definitiva mediante la utilización de potenciómetros que ajustan la recepción.
- Es posible corregir automáticamente la influencia de la presión atmosférica.
- Hay influencia mínima de la temperatura ambiente.
- Matemáticamente permite una mejor Linealización en 3 puntos normal, entre 5 puntos a elegir.
- Señalización de valor límite.
- Señal de salida separada galvánicamente.
- Opciones a elección para la utilización más eficaz en el caso de medidas problemáticas.

Los analizadores se suministran con cubeta anticorrosiva, 1 campo de medida lineal, señal de salida separada galvánicamente de 0... 20 mA ó 0... 5V y para una alimentación de 220V, 50/60 Hz.

A continuación en la Tabla 1.2 se proporcionan datos de las características principales del analizador-medidor.

Tabla 1.2 Especificaciones del analizador-medidor

Especificaciones	
Método de medida:	Método de simple campo NDIR
Medida del gas:	CO <sub>2</sub> en el aire
Rango de medida:	0 a 0.3% CO <sub>2</sub> (Opción: 0 a 1%, 0 a 5% o 0 a 10% CO <sub>2</sub> )
Error:	±1% a full escala
Estabilidad:	±10% a full escala/6 meses
Respuesta en el tiempo:	Aprox. 10 seg.
Señal de salida:	
Alarma de salida:	sobre y baja alarma
	Un contacto para cada uno.
	Capacidad max. 250V,3A (resistencia de carga).
Salida analoga:	4 a 20 mA/ 0 a 5 V <sub>DC</sub> , no aislada.
Indicador:	escala de gas de CO <sub>2</sub> en %
Condición de ambiente:	5 a 40 °C, 90% RH o menos Deberían ser libres de corrosión o gases explosivos.
Temperatura de almacenamiento:	-5 a 50 °C
Alimentación:	AC 220V +10%, 50% ± 0.5 Hz. Aprox. 18VA -15%.
Calentamiento:	Aproximadamente 30 minutos.
Ejemplos de gases:	Construidos en membrana de filtros y secciones de bomba. Ejemplos de rapidez: aprox. 0.8 l/min.

El estudio realizado hasta aquí, permite identificar las variables a tomarse en cuenta para introducir la nueva tecnología que aquí se pretende diseñar e implementar; estas son:

- Señal (0 –220 V) desde el quemador.
- Señal (0 – 220 V) de detección de llama en el quemador.
- Señales (0-220 V) desde los dosificadores de CO<sub>2</sub>.

- Señales ( 0 – 24Vac) para cada una de las servoválvulas dentro de los invernaderos.
- Señal ( 0 a 5 Vdc) desde los sensores de CO<sub>2</sub> y CO.

Con el fin de lograr enfatizar en el alcance del proyecto y en que lugar se lo va a efectuar, es necesario conocer la capacidad del sistema y su nueva implementación. Con este propósito, en el siguiente capítulo se describen las zonas de cultivo que tienen en sus instalaciones el sistema de CO<sub>2</sub>.

## **CAPITULO 2**

# **ANÁLISIS DEL SISTEMA DE CONTROL DE CO<sub>2</sub> EN LA ZONA PROPAGACIÓN ROSAS**



## CAPITULO 2

### ANÁLISIS DEL SISTEMA DE CONTROL DE CO<sub>2</sub> EN LA ZONA PROPAGACIÓN ROSAS

El objetivo de este capítulo es evaluar todos los invernaderos de la compañía para determinar el más apto para la aplicación de la nueva tecnología a desarrollarse. Se pretendía encontrar uno que permita hacer la adaptación en un tiempo reducido y que, al mismo tiempo, permita obtener resultados y conclusiones que posibiliten simplemente aplicarlos al resto de invernaderos.

Con este objetivo, a continuación se realiza una descripción de las zonas de cultivo, incluyendo datos específicos para cada uno, entregados por los técnicos y agrónomos de la plantación.

#### 2.1 DESCRIPCIÓN DE LAS ZONAS DE CULTIVO.

La empresa HILSEA INVESTMENTS finca El Chiván, se encuentra localizada en la Provincia de Pichincha, cantón Quito, parroquia el Quinche, en el barrio San Miguel de Atalpamba "con una altitud de 2416 msnm. y a 00°06'00" Latitud Sur y 76°16'00" Longitud Oeste." <sup>8</sup>

Las características climáticas a campo abierto, entregadas por la estación meteorológica de análisis de suelos de la compañía "Hilsea" se encuentran a continuación en la Tabla 2.1.:

---

<sup>8</sup> José Jara, Tesis (2000). Biblioteca de la empresa.

Tabla 2.1. Características climáticas a campo abierto. ( Fuente: Estación meteorológica de análisis de suelo de la finca Hilsea Investments Ltd. )

Precipitación promedio anual	700 mm
Temperatura promedio anual	16.5°C
Humedad relativa promedio	60%
Radiación total día	845 cal/cm <sup>2</sup> /día
Velocidad máxima del viento	31 km/h
Pendiente	4%

La finca el Chiván tiene un área aproximada de 575515 m<sup>2</sup> (57,5 hectáreas), la misma que se encuentra dividida en zonas de cultivo cuyos nombres, superficie y porcentaje de área ocupada se encuentran en la Tabla 2.2, también se presenta un mapa por zonas de producción en la Figura 2.1.

Tabla 2.2. Superficies aproximadas de cada una de las zonas de producción.

ZONAS	SUPERFICIE	PORCENTAJE
Producción flores de verano	252342.5 m <sup>2</sup>	44.15 %
Producción rosas	198891.83 m <sup>2</sup>	34.80 %
Propagación	29003.75 m <sup>2</sup>	5.07 %
Pos cosechas	5104.67 m <sup>2</sup>	0.89 %
Otros	86172.3 m <sup>2</sup>	15.08 %
TOTAL	571515.1 m <sup>2</sup>	100.00 %

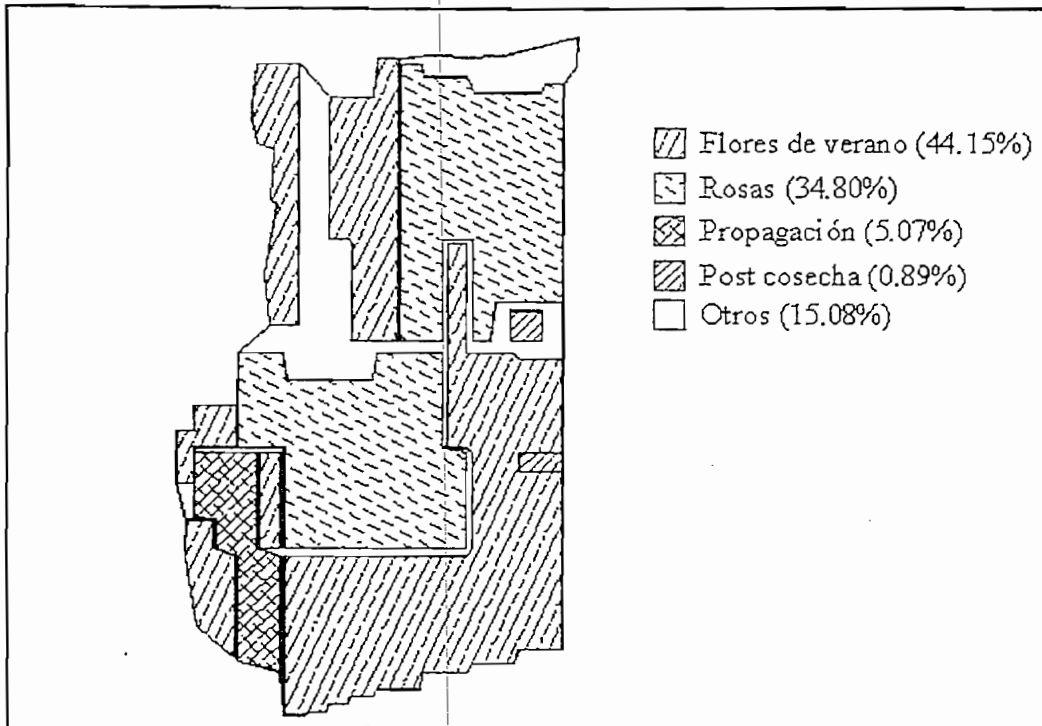


Figura 2.1. Mapa por zonas productivas de la finca El Chiván

El control de la cantidad de  $\text{CO}_2$  en los invernaderos en ppm es ya una de las tareas que se lleva a cabo en el sistema de climatización automática de la finca por medio de un sistema microprocesado cerrado. Por lo mismo, el objetivo de este proyecto fue diseñar e implementar un sistema de adquisición, control y visualización del  $\text{CO}_2$  pero basado en una computadora tipo PC. De lograrse resultados satisfactorios, este diseño se difundiría a las otras zonas de cultivo, conforme la empresa Hílsea lo considere necesario.

Vale empezar aclarando que el sistema de climatización que incluye el control de  $\text{CO}_2$  se encuentra implementado en casi todas las zonas de cultivo de la finca; consecuentemente, la zona a seleccionarse debía salir de entre aquellos que poseían tal sistema. La razón más importante para optar por esta estrategia era evitar gastos innecesarios a la compañía, lo que hubiese ocurrido si se escogía una zona de cultivo que no cuenta con tal tecnología y, por lo tanto, no incorpora los equipos pertinentes.

Por razones particulares a la empresa, los diferentes invernaderos, que cuentan con sistemas automáticos de control, se denominan de la manera siguiente:

- Zona Nacional.
- Zona Español.
- Zona Eje principal o HPL.
- Propagación Rosas.

Las zonas mencionadas se muestran en la Figura 2.2. La zona "eje principal o HPL" no cuenta con un sistema de dosificación de CO<sub>2</sub> propio. Los invernaderos 51, 36, 37 y 38 que corresponden a esta zona, se alimentan de CO<sub>2</sub> aprovechando los dosificadores de las otras zonas.

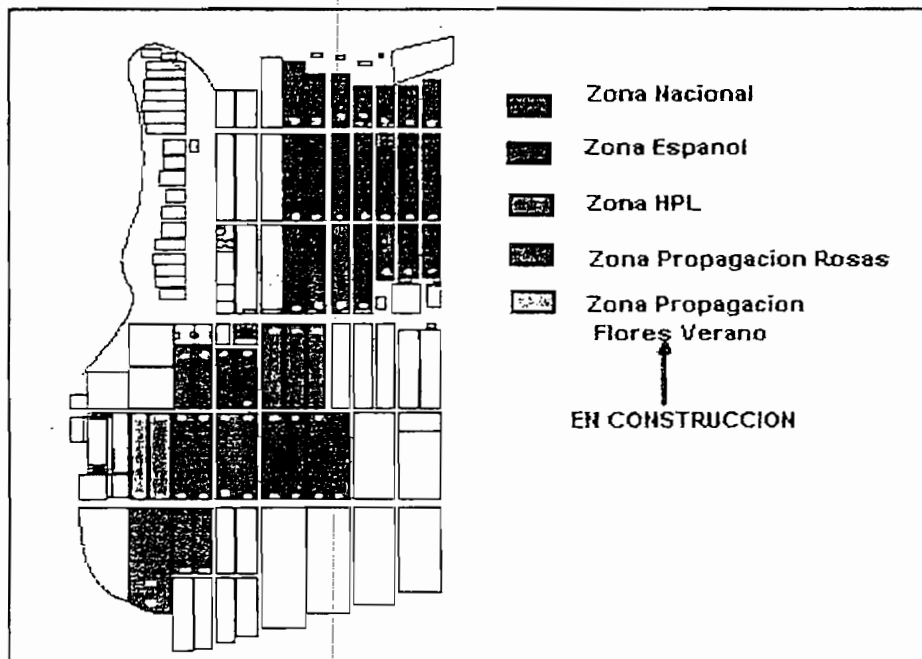


Figura 2.2 Zonas de producción de la finca El Chiván

### 2.2.1 ZONA NACIONAL

Es un grupo de invernaderos hechos en el país. Son de dos tipos, uno de ellos se caracteriza por tener dos tapas<sup>9</sup> rectas, los bloques<sup>10</sup>: 47, 48, 50, 51, 52, 54, 55, 57, 58, 59, 60, 61,62, 63, 64, 65, 67, 68, 69, 70, 71,72, 73, 74 y 75, y el otro tipo por tener dos tapas semicirculares, los bloques: 38, 49, 53, 66 y 76. Todos estos bloques poseen en su interior sistemas de control de calefacción más control de CO<sub>2</sub>. El flujo de CO<sub>2</sub> se traslada desde los dosificadores instalados en la casa de máquinas del mismo nombre, hacia los invernaderos.

Existen dos dosificadores de CO<sub>2</sub>, cada uno con un motor de 5,5 kW, con una capacidad de flujo de vapor hacia los invernaderos de 2000 á 3000 metros cúbicos por hora. Por medio de una red que posee dos tuberías principales de transportación se proporciona a cada uno de los invernaderos la cantidad necesaria de CO<sub>2</sub>, cuyo flujo es controlado por sendas servoválvulas de control de flujo ubicadas en las entradas de los invernaderos. Aproximadamente se manejan concentraciones de CO<sub>2</sub> en los invernaderos en un rango que varía entre 500 a 1000 ppm.

De los tableros secundarios dispuestos en esta zona se lleva los datos vía cable hacia el computador principal; los resultados que se obtienen han determinado que en estos invernaderos, las servoválvulas de control de distribución de CO<sub>2</sub> actúen manualmente. Las servoválvulas están calibradas para aberturas diferentes, dependiendo de la proximidad al centro de generación o casa de máquina, con la diferencia de que las aberturas definidas marcan el límite del movimiento entre abrir y cerrar, de esta forma se reduce el movimiento de la servoválvula y se logra mejorar la distribución de anhídrido en cada invernadero. La red de tuberías y servoválvulas de control de flujo, están dispuestas tal como se muestra en el diagrama de la Figura 2.3

---

<sup>9</sup> Las tapas son las cubiertas de los invernaderos o la parte superior de plástico.

<sup>10</sup> Bloque es el nombre que se da a los invernaderos dentro de la empresa.

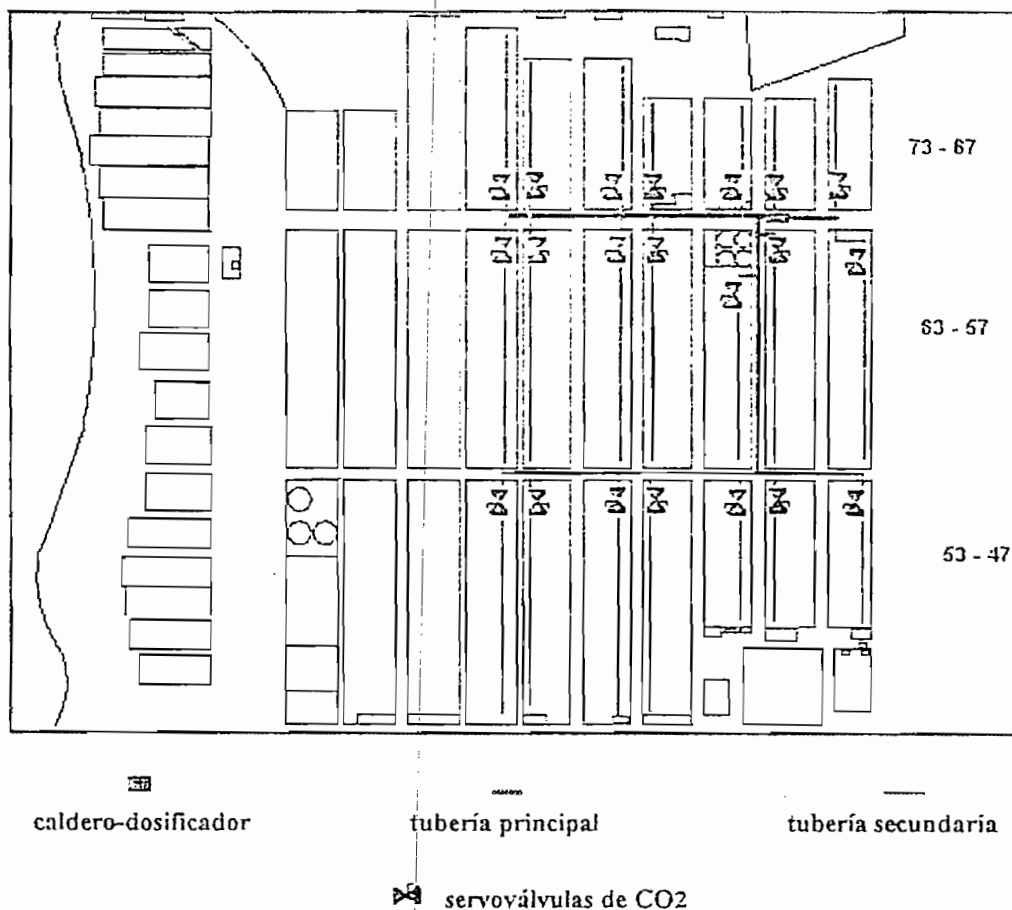


Figura 2.3 Sistema de CO2 zona Nacional

De esta manera el sistema alimenta a 21 invernaderos distribuidos en tres filas, con un área ocupada entre las 8 y 9 hectáreas. Para tener una idea del área cultivada, la siguiente tabla entrega los datos de extensión:

Tabla 2.3 Distribución y extensión de los invernaderos nacionales

posición	invernadero		Área por inv. m <sup>2</sup>	Área total m <sup>2</sup>
	#	dimensiones m x m		
1ra fila	47-49	74,8 x 32	2393,6	7180,8
1ra fila	50-53	163,2 x 32	5222,4	20889,6
2da fila	57, 58, 60-63	163,2 x 32	5222,4	31334,4
2da fila	59	74,8 x 32	2393,6	2393,6
3ra fila	67	88,4 x 32	2828,8	2828,8
3ra fila	68-70	74,8 x 32	2393,6	7180,8
3ra fila	71-72	156,4 x 32	5004,8	10009,6
3ra fila	73	164,4 x 32	5260,8	5260,8
Total Area (m <sup>2</sup> )				87078,4
(hectáreas)				8,7

Para medir la cantidad de CO<sub>2</sub> dentro de cada invernadero se cuenta con un sistema de conductos colocados en la mitad de cada uno de los bloques y pendiendo a una cierta distancia del suelo. Existe un conducto por cada invernadero controlado que permite el flujo de aire-CO<sub>2</sub> hacia el analizador-medidor, asimismo, se obtiene dos señales de mando por cada servoválvula a controlar. Además, se dispone de tableros de mando secundarios en cada uno de los invernaderos para controlar y monitorear cada una de las señales de climatización. El mismo sistema es implementado para las demás zonas pero con ciertas adecuaciones.

Los datos que envían los tableros secundarios, se lleva vía cable hacia un computador principal donde se registran.

### 2.2.2 ZONA ESPAÑOL

Este nombre es debido a su procedencia, se caracterizan por tener tan solo una tapa de forma semicircular. Los bloques con este tipo de invernaderos son los siguientes: 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 39, 40, 41, y 42, y son utilizados para el cultivo de rosas. Asimismo, la infraestructura dispuesta permite el control climático y de CO<sub>2</sub> de una forma totalmente automática. Cuenta con techos, cortinas y pantallas manejados por motores, además de un sistema de ventilación, un sistema de calefacción-CO<sub>2</sub> que mejoran el proceso.

El sistema de CO<sub>2</sub> comienza en la casa de máquinas del mismo nombre, en donde se encuentran dos dosificadores, cada uno con un motor de 5,5 kW que entregan un flujo de vapor de 2000 á 3000 metros cúbicos por hora. Su ubicación permite contar con dos tuberías principales que parten paralelamente y llegan a cada uno de los invernaderos de la zona. Como ya se indicó, se colocan servoválvulas de control de flujo de CO<sub>2</sub> en la entrada de cada uno de los invernaderos.

El área de cultivo de esta zona se resume en la Tabla 2.4.

Tabla 2.4 distribución de invernaderos españoles

posición	invernadero #	dimensiones m x m	Área por inv. m <sup>2</sup>	Área total m <sup>2</sup>
1ra fila	19-26	174,08 x 32	5570,56	44564,48
2da fila	36-38	163,2 x 32	5222,4	15667,2
2da fila	39-42	130,56 x 32	4177,92	16711,68
Total Area (m <sup>2</sup> )				76943,36
(hectáreas)				7,7

Realizar control en esta zona podría resultar más sistemático que en el caso anterior pues toda esta zona es manejada en forma automática. El sistema alimenta a 15 invernaderos distribuidos en dos filas, tal como lo indica la Figura 2.4.

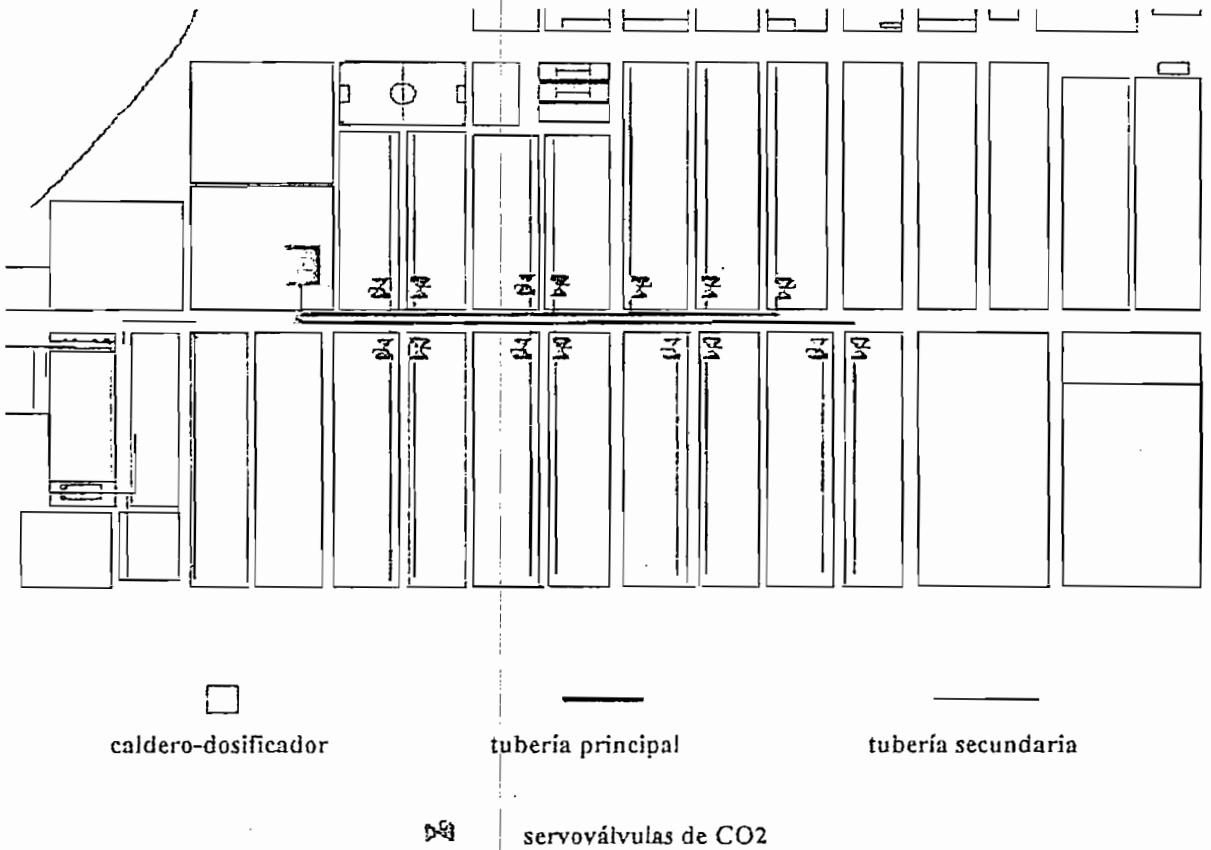


Figura 2.4 Sistema de CO2 Zona Españoles



Al igual que la zona anterior, para medir la cantidad de CO<sub>2</sub> dentro de cada invernadero y complementar el proceso de la climatización implementado, se cuenta con un sistema de conductos de anhídrido carbónico colocados en la mitad de cada uno de los bloques y pendiendo a una cierta distancia del suelo. Aquí sin embargo se cuenta con sistemas de ventilación, pantallas, ventanas, techos montados sobre ejes que en conjunto permiten controlar mejor la concentración de CO<sub>2</sub>.

De los tableros secundarios dispuestos en esta zona se lleva los datos vía cable hacia el computador principal; los resultados que se obtienen han determinado que en estos invernaderos, las servoválvulas de control de distribución de CO<sub>2</sub> actúen semi-automáticamente. Las servoválvulas están calibradas para aberturas diferentes, al igual que la zona anterior, dependiendo de la proximidad al centro de generación o casa de máquina, con la diferencia de que las aberturas definidas marcan el límite del movimiento entre abrir y cerrar, de esta forma se reduce el movimiento de la servoválvula y se logra mejorar la distribución de anhídrido en cada invernadero.

Como se indicó, se tomó esta medida porque en la zona se puede controlar el flujo de CO<sub>2</sub> con la ayuda de los demás sistemas dispuestos. Además, su diseño permite aumentar sistemas como, por ejemplo: de doble riego, doble calefacción o doble dosificación de CO<sub>2</sub> con mucha facilidad.

### **2.2.3 PROPAGACIÓN DE ROSAS.**

"Propagación de Rosas" es una zona dedicada exclusivamente a la reproducción de plantas utilizando varias técnicas de cultivo. Al mismo tiempo, es un centro de producción, y cuenta con tres invernaderos divididos en cuatro secciones, habilitados para ofrecer ambientes diferentes de climatización: con condiciones muy altas de temperatura y humedad, así como condiciones muy altas de concentración de CO<sub>2</sub> y aireación.

El sitio se encarga de proveer material vegetal al campo, sea: una planta por semilla, una planta por esqueje, un bulbo o raíz, cada uno de los cuáles debe pasar por un proceso especial antes de ser llevado al campo, para que esta planta o bulbo pueda llegar a producir un tallo. El proceso especial implica la limpia, desinfección, aplicación de hormonas, siembra y aplicación constante de riego, además, dependiendo del caso, se puede necesitar que la planta ingrese a un cuarto caliente o frío. Dentro de los invernaderos o cuartos calientes se necesita de un sistema manual para la transportación y transferencia de las variedades de una lado a otro, con el fin de mejorar la maduración de la especie y habituarla a condiciones más reales que se presentarán luego en el campo. Se parte desde condiciones muy húmedas y calientes, hasta condiciones de mucha aireación y poca temperatura.

Como se puede ver, durante el proceso de crecimiento de la flor una parte importante dentro del ciclo de producción son los equipos que se utilizan para llevar a cabo los distintos procesos de fertilización, fumigación, agua cruda, transporte, calefacción, CO<sub>2</sub>, etc., motivo por el cual todos estos equipos se deben encontrar en perfecto estado, y el personal de mantenimiento debe conocerlos a fondo, a fin de evitar descoordinación en los trabajos de los ingenieros agrónomos o retrasos en el crecimiento de la planta.

Las zonas descritas se distribuyen en tres invernaderos para el almacenamiento, cultivo y crecimiento de flores como se puede observar en la Figura 2.5.

Para desarrollar el sistema paralelo se necesita registrar en el nuevo sistema por lo menos una variable de cada uno de los equipos, sin que estas se repitan, y la zona "Propagación de Rosas" ofrece esta oportunidad.

Por datos entregados en la Tabla 2.2, de extensión, por el número de servoválvulas, y por el número mínimo de señales necesarias para su control, esta zona es la que cuenta con las facilidades para la implementación de un sistema paralelo. En el resto del capítulo se verá la forma de adaptar sus señales al nuevo sistema a implementarse.

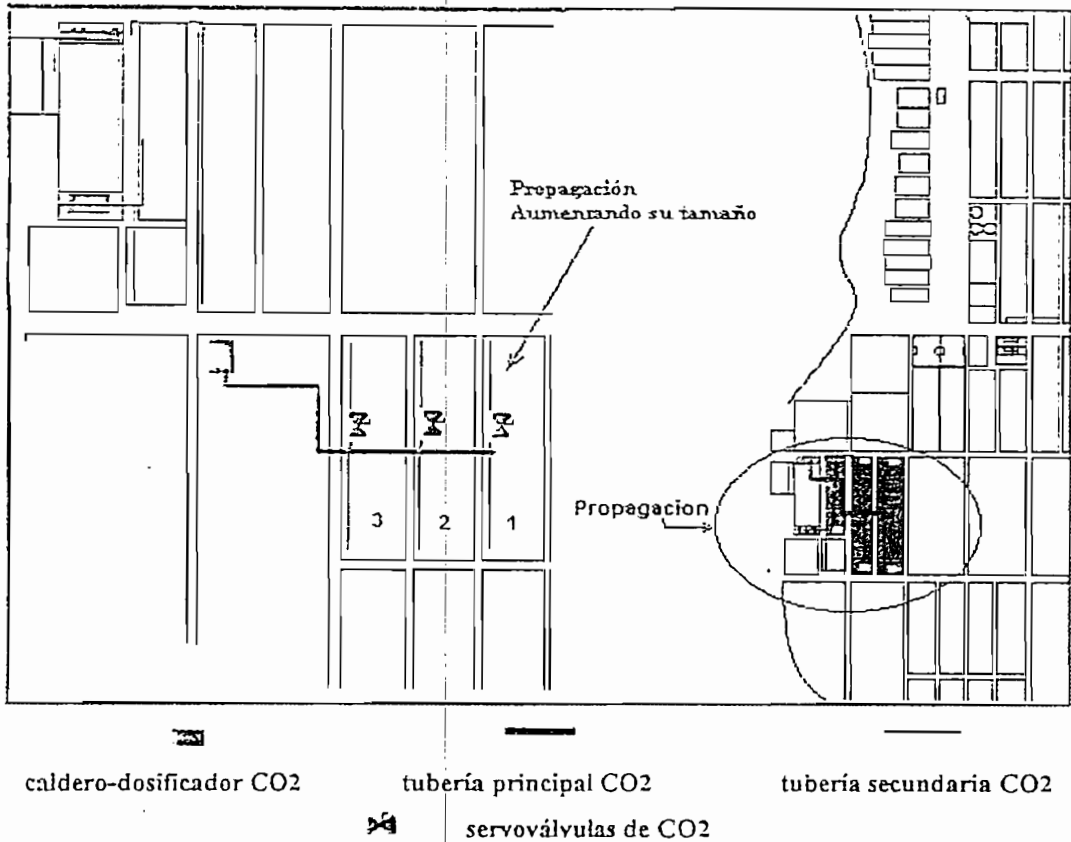


Figura 2.5 Zona Propagación

Entre los sistemas más importantes, se cuenta con un sistema de doble calefacción para lograr condiciones extremas de temperatura, un sistema de CO<sub>2</sub> para aumentar su concentración dentro del invernadero y un sistema de riego localizado especialmente diseñado con bombas que entregan la dosificación precisa y necesaria según el cultivo que se quiera irrigar. Adicional a estos sistemas se encuentran los equipos de ventilación que comprende: los cenitales o techos móviles, ventiladores para lograr una distribución térmica pareja a lo largo del invernadero y pantallas térmicas que ayudan a regular la filtración de mayor ó menor cantidad de luz.

Luego de analizar todo el sistema, se convino con la empresa que el proyecto solo se centre en el monitoreo, control y visualización del sistema de control de CO<sub>2</sub>, dejando la posibilidad a futuro de ampliaciones, conforme se considere oportuno y necesarias su ejecución.

## 2.2 DESCRIPCION DEL SISTEMA ACTUAL.

El sistema de CO<sub>2</sub> parte desde el caldero dispuesto en esta zona, en el que se halla un dosificador con un motor de 2,2 kW de potencia, que alcanza un flujo de vapor entre 1250 á 2000 metros cúbicos por hora. En esta zona se cuenta con un caldero y dosificador de capacidad inferior a los anteriores, pero suficiente para aumentar la concentración de CO<sub>2</sub> dentro de los invernaderos.

En los invernaderos de esta zona, automáticamente se entregan dosis de CO<sub>2</sub> con concentraciones muy altas (800 a 1000 ppm) en las mañanas, reduciendo hasta un promedio de 500 ppm en el resto del día. De esta forma el producto queda sometido desde condiciones extremas hasta condiciones moderadas de CO<sub>2</sub>.

Cabe indicar que el plástico especial colocado en estos invernaderos, ayuda a obtener los márgenes amplios de temperatura, humedad y dosificación de CO<sub>2</sub>. Este cubre las instalaciones ajustado a la forma de la infraestructura. Posee una capa de doble recubrimiento con un espacio entre capa y capa de alrededor de 2 a 3 cm para lograr aislamiento térmico y de esta forma mejorar las condiciones de temperatura, humedad, CO<sub>2</sub> en el interior, al máximo posible. Este tipo de plástico permite mantener la temperatura de los invernaderos en unos 4 a 5 grados centígrados más de lo que se logra con los plásticos convencionales colocados en las otras zonas. Pero, el precio del plástico es 2 a 3 veces más caro por metro cuadrado que el convencional.

La recuperación de energía calorífica permite al caldero trabajar a condiciones mas bajas de temperatura, con esto se logra condiciones mínimas de trabajo en el caldero, un ahorro de energía y combustible. Pero la concentración de CO<sub>2</sub> baja

de un 15 al 20%. Para compensar la pérdida de concentración se aumenta la velocidad de los ventiladores.

Una ventaja adicional que se obtiene al reducir el punto de trabajo del caldero es que disminuye su depreciación y, vuelve al sistema más rentable. Además, es mucho más barato realizar el mantenimiento de los motores de los ventiladores que realizar el mantenimiento del caldero y el dosificador.

Para determinar los niveles de concentración y su interacción con las demás variables, se utiliza un medidor de gases con tres entradas de conductos de medición que provienen de los invernaderos. Con los valores captados, se decide con que valor y en que lugar se debe actuar, dependiendo de la programación en la computadora principal.

Al mismo tiempo que se dispone de la computadora principal para controlar el nivel óptimo de CO<sub>2</sub>, en la actualidad el personal de operación tiene que recurrir a una base de datos histórica de cada invernadero contenida en la computadora en mención. Analizando los datos obtenidos se determina el nivel óptimo de las variables que intervienen. Estos se ingresan en un programa de mantenimiento preventivo para evitar posibles daños a futuro.

La lectura de los datos implica seguir la secuencia siguiente: un multiplexor de señales conmuta entre las zonas de medición (cada uno de los invernaderos conectados). Este aparato activa un transductor neumático que permite el paso de la mezcla aire-CO<sub>2</sub> desde el invernadero, hasta el medidor de CO<sub>2</sub>. La señal del medidor es recogida por la computadora central y procesada. Finalmente, entrega lecturas de esta señal a un indicador de pluma o a la interfaz HMI en la misma computadora. Por lo explicado, se puede deducir que los datos entregados por la computadora no corresponden a los presentes en un instante dado; por lo tanto, se tiene un sistema de control que no es en tiempo real. Este precisamente es uno de los problemas a resolverse con el sistema paralelo; esto es, tener un sistema de control en tiempo real.

Para cerrar el lazo de control, la computadora compara la lectura realizada con un valor determinado. Al detectar una lectura diferente, realiza operaciones de movimiento de las válvulas de CO<sub>2</sub>, haciendo que las servoválvulas de paso se abran o se cierren de acuerdo a la lectura medida. Partiendo de los datos del porcentaje de anhídrido y la cantidad que se desea obtener al final del proceso, se puede conocer la cantidad de movimiento de apertura o cierre de una servoválvula que se necesita para obtener el parámetro adecuado.

Existen controles para abrir y cerrar los servomotores, pero no existe ningún control de posición que entregue un dato sobre la apertura de la servoválvula, por lo que el nuevo sistema a implementarse tuvo que adaptarse a esta falencia.

La falta del detector o medidor de apertura obliga a que exista personal de planta regularmente revisando y registrando la posición de las servoválvulas y la cantidad de flujo que está pasando. Complementario a esto, se realiza un período de prueba que dura aproximadamente una hora, tiempo en el cual se busca obtener los niveles de CO<sub>2</sub> totalmente homogeneizados y listos para el proceso.

Como se puede concluir, el estado actual del proceso automático en la zona "propagación de rosas" adolece de muchos defectos. Consecuentemente, este proceso permitía ser controlado y monitoreado de manera más real y con un sistema más eficaz, eso sí, dependiendo de la inversión que quiso asignarse a este proyecto.

### **2.3 PROGRAMA DEL PROCESADOR DE CONTROL CLIMÁTICO**

En el programa desarrollado por la empresa "SERCOM", que lleva el control de las condiciones climatológicas de la empresa "HILSEA", se despliegan una serie de opciones a las que se puede acceder con facilidad, pero no permiten hacer cambios en los valores. Tampoco es posible modificar los valores de consigna pues estos se deben modificar dentro del programa interno del procesador.

Para modificar los parámetros se debe contar con los equipos de programación necesarios, además de conocer el programa dentro del procesador.

Para tener una apreciación mejor de lo expuesto hasta aquí, se puede recurrir al anexo A en donde se presentan los datos de las variables en el programa.

En la Figura 2.6 se muestra la pantalla del computador, ubicado en cada una de las zonas antes mencionadas, por medio de cuya interfaz es posible realizar ciertas modificaciones.

SERCOM	MEASUREMENT		GREENH. 1	
			measure	set
GL. TEMP.	Ventilation	°C	23,9	20
	Heating	°C		12
HUMID.	Relative	%	90,7	70
	Deficit	g/m <sup>3</sup>	6	4
	Circ Dewpoint wbt	°C	15,8	14,3
CROP	temp model	°C	19,9	
	Root temp.	°C	14,7	
CO2	Md Concentr.	ppm	540	680
HEAT	*Temp. Netw. 1	°C	50,6	48
K1K2	-Temp. Netw. 2	°C	34,5	20,3
VENTS	L Vent pos. 1	%	99,5	100
	w Vent pos. 2	%	24,9	25
	Limits	max/min		
SCREEN	Screenpos.1	%		90
TUESDAY		1 January 19XX	10:02	

Figura 2.6 Display de la computadora

Por ejemplo, en la línea identificada como CO<sub>2</sub> se especifica el valor medido de CO<sub>2</sub> y su respectivo valor de consigna.

Hay que tener claro que el proyecto solo se preocupa de la incidencia del CO<sub>2</sub> por lo que los controles para el movimiento de las ventanas no son tomados en cuenta. Además, el movimiento de las ventanas tiene más influencia en la temperatura antes que en el contenido de CO<sub>2</sub>. Tampoco se considera la velocidad de los ventiladores pues estos se mantienen trabajando al 100% de su velocidad nominal.

## 2.4 PROPUESTA DEL PROYECTO

Para el desarrollo del proyecto propuesto, no se debe olvidar que este se inició con varios limitantes; por ejemplo, la obligatoriedad de emplear algunos dispositivos de los ya instalados y descritos con anterioridad. Además, se obligó a mantener cierta metodología del proceso, por recomendación de los usuarios finales.

Luego de adquirir experiencia de primera mano trabajando en el campo, conocer la mayoría de procesos detrás del cultivo de rosas, la particularidad de trabajo de los invernaderos, se pudo a cierta altura del proyecto visualizar una propuesta más precisa y real de cómo cumplir con los objetivos del presente trabajo. Fue muy interesante concluir que el trabajo no se debía centrar a encontrar un sistema más óptimo, sino más bien, a demostrar las bondades de un sistema de control en tiempo real, que emplee software más eficiente y más amigable, utilice un sistema de administración que opere sobre un protocolo convencional y adecuado para manejar un PLC.

La propuesta de solución empieza por considerar que el sistema posee dos modos de operación: manual y automático.

En modo manual, el operador acciona cualquier elemento de salida; es decir, abre o cierra servoválvulas. Durante este modo de operación, es posible probar cada elemento antes de que sea instalado en el campo.



En modo automático, el sistema revisa los niveles de CO<sub>2</sub> entregados por cada invernadero y comparan con un nivel de consigna; la diferencia se analiza y de acuerdo al resultado se ordena un evento de salida sea de apertura o cierre. Los eventos que ocurren en modo automático se desarrollan de una manera ordenada y sistemática.

Consecuentemente, para ambos modos, el operador deberá observar en la interfaz a desarrollarse, los valores y sus variaciones en tiempo real, así como el estado de los elementos involucrados en el proceso de dosificación.

Por otro lado, el sistema deberá automáticamente almacenar las variables involucradas sin intervención del operador con el propósito de permitir analizar y evaluar el comportamiento histórico de las mismas, cuando el supervisor o técnico encargado crea conveniente. Se creó conveniente que el período de almacenamiento pueda ser fijado por la persona encargada del proceso.

Analizando el trabajo de las servoválvulas de salida de cada invernadero, se concluyó que el nuevo sistema debe operarlas en modo ON/OFF cuando el sistema esté en modo manual. Además, se deberá prever que, en modo manual, no se pueda habilitar los comandos de abre y cierre, ambos a la vez. En modo automático, el algoritmo pertinente cuidará que tal cosa ocurra. En otras palabras, en modo manual el operador podrá controlar el estado de las servoválvulas a través de un interruptor. En cuanto al modo automático se refiere, las diferencias de concentración de CO<sub>2</sub> permitirán un control proporcional de las servoválvulas.

La interfaz gráfica deberá ser diseñada tal que respete las convenciones industriales, incluso en lo que a colores se refiere, por ejemplo, el color rojo indicará que la válvula se encuentra cerrada, mientras que el color verde indicará lo contrario.

El medidor de CO<sub>2</sub> entrega, a través del multiplexor, valores análogos; esto es, 0 a 5 Vdc o 4 a 20 mA. Manipulando estos valores, el operador puede regular el

flujo de trabajo de las servoválvulas. El nuevo sistema deberá entonces ser capaz de manejar estos niveles de corriente o voltaje. La precisión es el primer requisito para la operación de los invernaderos. La siguiente lista muestra un ejemplo de requerimientos para la medición de CO<sub>2</sub> y de todas las variables climatológicas.

- Seguridad.
- Precisión y Repetibilidad.
- Compatibilidad con las operaciones.
- Amigabilidad con el operador.
- Bajo mantenimiento.
- Fácil expansión.
- Sistema de detección de fallas o alarma.
- Interface a un computador con soporte de software.
- Soporte técnico y de repuestos.
- Precio aceptable.

La configuración propuesta del sistema de automatización se presenta en la Figura 2.7, en el cual se muestran interruptores que permitirán (o no) el paso de las señales necesarias para controlar y monitorear el sistema de dosificación de CO<sub>2</sub>.

En el PLC, las entradas son identificadas con una I y van desde la entrada 0 (I0.0) hasta la 14 (I1.5). Así mismo, las salidas se identifican con Q y van desde la salida 0 (Q0.0) hasta la 10 (Q1.1). Para las entradas analógicas, que son tres, se emplea las letras AIW y se las identificada como AIW0, AIW2 y AIW4.

Los voltajes que se esperan en las diferentes entradas o salidas son:

- 220 Vac para I0.0, I0.1 y I0.2.
- 24 Vdc para I0.3, I0.4, I0.5, I0.6 y I0.7.
- 110 Vac para I1.0, I1.1 hasta I1.5.
- Voltajes de salida de 24 Vdc desde Q0.0, Q0.1, Q0.2, Q0.3, Q0.4, Q0.5 y Q0.7.

- Señal analógica de 0 a 5 Vdc para AIW0.
- Señal analógica de 0 a 5 Vdc para AIW2.

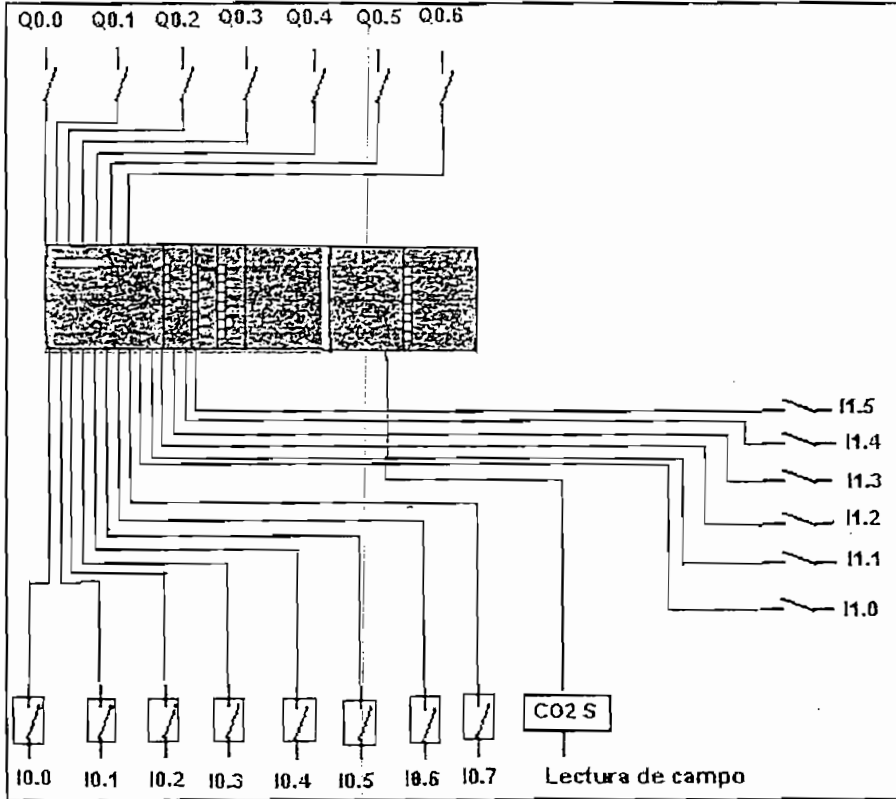


Figura 2. 7 Configuración del sistema de automatización

Donde:

- I0.0 = señal ON/OFF del quemador.
- I0.1 = señal de llama y caldero prendidos.
- I0.2 = señal de activado del dosificador de CO<sub>2</sub>.
- I0.3 = la lectura de CO<sub>2</sub> viene del invernadero #1.
- I0.4 = la lectura de CO<sub>2</sub> viene del invernadero #2.
- I0.5 = la lectura de CO<sub>2</sub> viene del invernadero #3.
- I0.6 = modo de trabajo: automático o manual.
- I0.7 = entrada libre para conexión extra.

I1.0 = servoválvula de paso de CO<sub>2</sub> en invernadero #1 abierta.  
I1.1 = servoválvula de paso de CO<sub>2</sub> en invernadero #1 cerrada.  
I1.2 = servoválvula de paso de CO<sub>2</sub> en invernadero #2 abierta.  
I1.3 = servoválvula de paso de CO<sub>2</sub> en invernadero #2 cerrada.  
I1.4 = servoválvula de paso de CO<sub>2</sub> en invernadero #3 abierta.  
I1.5 = servoválvula de paso de CO<sub>2</sub> en invernadero #3 cerrada.

Q0.0 = abrir servoválvula de paso en invernadero #1.  
Q0.1 = cerrar servoválvula de paso en invernadero #1.  
Q0.2 = abrir servoválvula de paso en invernadero #2.  
Q0.3 = cerrar servoválvula de paso en invernadero #2.  
Q0.4 = abrir servoválvula de paso en invernadero #3.  
Q0.5 = cerrar servoválvula de paso en invernadero #3.

AIW0 = lectura desde el medidor de CO<sub>2</sub>.

AIW2 = lectura desde el medidor de CO.

A partir del diagrama de conexiones del PLC propuesto, en el próximo capítulo se pasa a la fase del diseño propiamente dicho del sistema, empezando con una descripción del PLC empleado.

## CAPITULO 3

# DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL HARDWARE PARA EL SISTEMA DE CONTROL DE CO<sub>2</sub>

## CAPITULO 3

### DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL HARDWARE PARA EL SISTEMA DE CONTROL DE CO<sub>2</sub>

En este capítulo se describe el diseño y, donde se aplica, la construcción del hardware de este proyecto. Se ha evitado, para que no se extienda mucho este trabajo, incluir todas las alternativas que se probaron, pero se aclara que la solución final fue hallada después de probar, diseñar y/o construir varios dispositivos y configuraciones que permitan cumplir con los objetivos de este proyecto.

En el mercado industrial se encuentra una gran variedad de instrumentos proporcionados por diferentes fabricantes; es entonces responsabilidad y trabajo del diseñador saber escoger aquellos que mejor se ajusten a las necesidades particulares de una aplicación, tomando en consideración sus características y contraponiéndolas a su costo.

Estos criterios tuvieron que aplicarse en este proyecto, empezando con la selección del PLC.

#### 3.1 SELECCIÓN DEL PLC.

El PLC (Programmable Logic Controller) se ha constituido hoy en día en la herramienta esencial de muchas aplicaciones. Este proyecto no podía ser la excepción.

Técnicamente, a un PLC se lo define como el aparato de control que interactúa con las variables de un proceso, obedeciendo a la lógica funcional programada en su "interior". Un PLC esta compuesto por una CPU que se encarga de ejecutar el programa residente en una memoria RAM. Posee además entradas y salidas que le permiten detectar o actuar sobre diversos dispositivos de campo.

El sistema operativo del PLC es instalado por el fabricante, almacenado en una memoria flash EPROM. Por otro lado, en la memoria RAM se almacena el programa realizado por el usuario. Para visualizar la operación de los aparatos conectados se tiene un área de leds que indican la conexión correcta de encendido, el estado del programa (corriendo o en modo de parada).

Gracias al desarrollo de estos componentes se puede lograr mejorar la producción de los procesos industriales; haciéndoles también más confiables. Los PLC contribuyen a la reducción de los tiempos de mantenimiento y modificación de lógicas, la reducción del cableado, y la reducción de los tiempos de instalación y puesta en marcha.

Por lo mencionado, hoy en día la industria no discute sobre si se debe recurrir a un PLC sino más bien cuál seleccionar. Para tomar esta decisión hay que tomar en cuenta la gran variedad de modelos que existen en el mercado, así como también la variedad de proveedores de PLC tales como: Allen Bradley, Telemecanique, Modicum, etc. cada cual con sus características particulares que convierten la tarea de selección en un proceso un tanto complejo. Las características propias se refieren a detalles como: capacidad de memoria, número de entradas y salidas, protocolo de comunicación, etc.

Para definir el tipo de PLC que será utilizado en un proyecto determinado, se debe tomar en cuenta las necesidades del mismo.

Primeramente se debe considerar la cantidad de entradas-salidas, con los niveles de voltaje que entren/salgan, respectivamente, la ubicación del PLC; los modos de programación que pueden permitir (ladder, AWL, KOP); el número de entradas/salidas analógicas y digitales.

El número de entradas y salidas es definido por el número de dispositivos y variables con las que se quiere interactuar en el proceso. A cada una de las variables hay que clasificarles según se trate de valores discretos o análogos y cuales son sus rangos de voltaje y corriente de operación.

La ubicación del PLC con respecto a los dispositivos con los que interactuará define los protocolos de comunicación y la configuración de red (redes locales, remotas o distribuidas) bajo la que operarán. Elegir correctamente el tipo de comunicación puede disminuir los costos de cableado entre los dispositivos a conectarse. Para elegir el protocolo de comunicación el diseñador deberá elegir de entre protocolos conocidos y confiables. Dependiendo de la marca del PLC y de su capacidad pueden ser Fieldbus, PPI, Profibus, Modbus, etc.

Específicamente en el proyecto en la empresa Hilsea Investments es necesario que el PLC utilice un protocolo industrial abierto que permita, no-solo el control de las variables, sino que también permita integrar al sistema otros dispositivos de distintas casas comerciales. Por esta razón, se eligió al PLC de la casa Siemens con un protocolo Freeport/PPI<sup>11</sup> para establecer la comunicación.

Siemens ha desarrollado diferentes dispositivos con diferentes características en rango de memoria, y ha desarrollado una serie de equipos de automatización que utilizan comunicación PPI/Freeport y Profibus. Se eligió un PLC de la serie de los S7-200 (Figura 3.1), con el CPU 214. Este autómatas es idóneo para tareas complejas y de gran número de entradas/salidas y contiene muchas funciones especiales integradas (Ej.: Contadores rápidos, interrupciones temporizadas o de hardware, o salidas de impulsos).

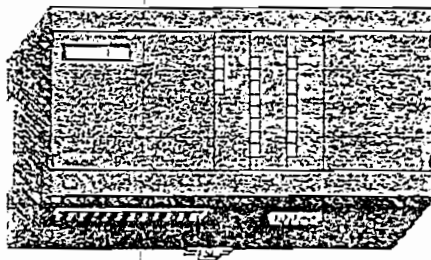


Figura 3.1 PLC Siemens S7-214

Los PLCs de la serie S7-200 están compuestos por un CPU (como se muestra en la Figura 3.1) y, como todos los autómatas programables SIMATIC trabaja de forma cíclica. Dentro de cada ciclo de trabajo, en primer lugar se leen los estados



de las entradas y se memorizan en el registro de entrada de la "imagen de proceso" (process-image input register). Continúa con la ejecución del programa de control y procesa cualquier solicitud de comunicación. Luego pasa a ejecutar el programa de auto diagnóstico y termina escribiendo a las salidas.

De acuerdo a la lógica especificada, se censa el estado de las bombas, servoválvulas, valores de temperatura, presión, CO<sub>2</sub>, etc. De acuerdo al programa implementado en el PLC procesará la información captada y; en la última fase, escribirá las ordenes respectivas a las salidas. Seguidamente volverá a ejecutar el ciclo desde el principio.

Un ciclo dura normalmente entre 3 y 10 ms. La duración depende del número y tipo de instrucciones (operaciones) utilizadas. El ciclo consta de dos partes principales:

- Tiempo del sistema operativo.
- Tiempo para ejecutar las instrucciones.

Luego de realizar el ciclo, el protocolo de comunicaciones permite al PLC interactuar con los diferentes controladores y dispositivos.

Para conectar el PLC S7-200 a un computador personal (PC) se requiere de los equipos siguientes (Figura 3.2):

- Un cable PC/PPI.
- Una tarjeta o procesador de comunicaciones (CP) y un cable de interfase multipunto (MPI).
- Una tarjeta de interface multipunto (MPI) que viene con su respectivo cable de comunicaciones.

---

<sup>11</sup> Freeport: protocolo propio implementado por el diseñador. PPI: interface punto a punto.

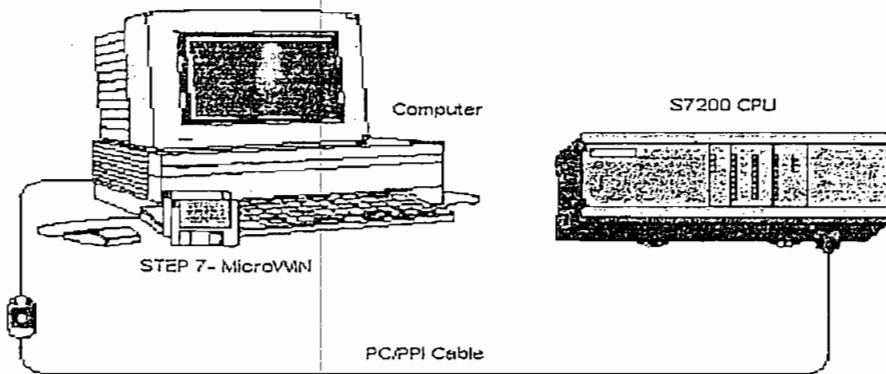


Figura 3.2 Conexión del PLC S7-200 a una PC.

El S7-200, como todo PLC, combina su CPU, fuente de poder y puntos de entrada y salida discretas, con módulos de expansión. Para la presente aplicación se optó por seleccionar los módulos siguientes:

### 3.1.1 MÓDULOS DE EXPANSIÓN

El S7-214 provee 14 entradas y 10 salidas digitales. Por la aplicación, se tuvo que añadir un módulo de expansión con 3 entradas y 2 salidas analógicas. Como se muestra en la Figura 3.3, el módulo se conecta al PLC por medio de un bus conector.

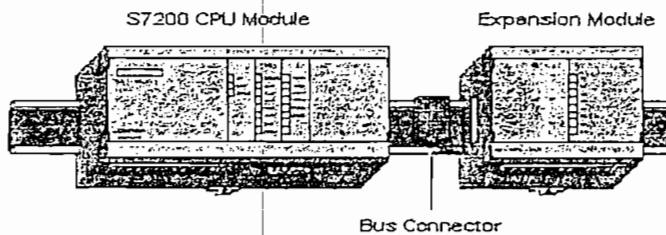


Figura 3.3 Módulo de expansión para la CPU S7-214

### 3.1.2 FUENTE DE ALIMENTACIÓN

La fuente que satisface el suministro de energía para los relés, incluyendo al PLC, fue diseñada sobre la base de la demanda de corriente que se necesita para la operación de los mismos. Según el manual del PLC la corriente que consume (incluido el módulo de expansión) es de 500 mA. Esto sumado al consumo de los relés dio un consumo total de 2 amperios.

El circuito de la fuente es del tipo de rectificación de onda completa y se muestra en la Figura 3.4.

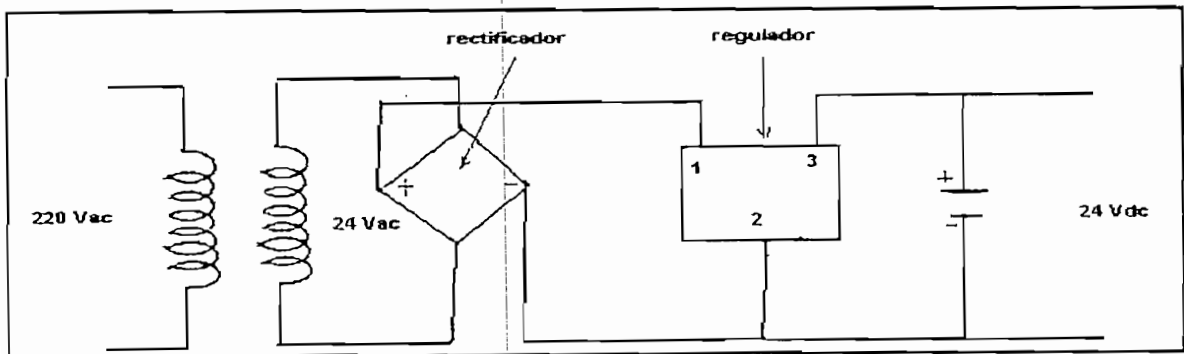


Figura 3.4. Fuente de alimentación DC

El transformador es de 220V<sub>AC</sub> a 24 V<sub>AC</sub> y se tiene un rectificador de onda completa (RS205L), asumiendo que el rizado tolerable es de 1 V<sub>rp</sub>, entonces:

El voltaje de rizado de la fuente está dado por:

$$V_{rp} = I_{dc} / 4fC$$

Donde:

$I_{dc}$ : corriente de carga

$f$ : es la frecuencia normal de la red ( 60 hz)

C: es el capacitor de alisado (filtro)

Para  $V_{rp} < 1V$

$$C = I_{dc} / 4fV_{rp}$$

$$C = 2 A / 4(60)(1)$$

$$C = 8350 \mu F$$

En lo que se refiere al regulador se utilizó el AN7824 que entrega un voltaje regulado positivo de 24 V.

El consumo máximo de potencia es:

$$P = V \cdot I = 24 \cdot 2 A = 48VA$$

### 3.2 CONEXIÓN DEL PLC CON LA ZONA “PROPAGACIÓN ROSAS”

De acuerdo a la estructura del proyecto, el PLC debe comunicarse e interactuar (tal como se muestra en la Figura 3.5) con:

- *Caldero.*
- *Dosificador de CO<sub>2</sub>.*
- *Relés de control de las servoválvulas de CO<sub>2</sub>.*
- *Relés de control del sistema del Multiplexor de CO<sub>2</sub>.*
- *Medidor de CO<sub>2</sub>.*
- *Estación de trabajo (HMI).*
- *El PC (a través de la interfaz RS232).*

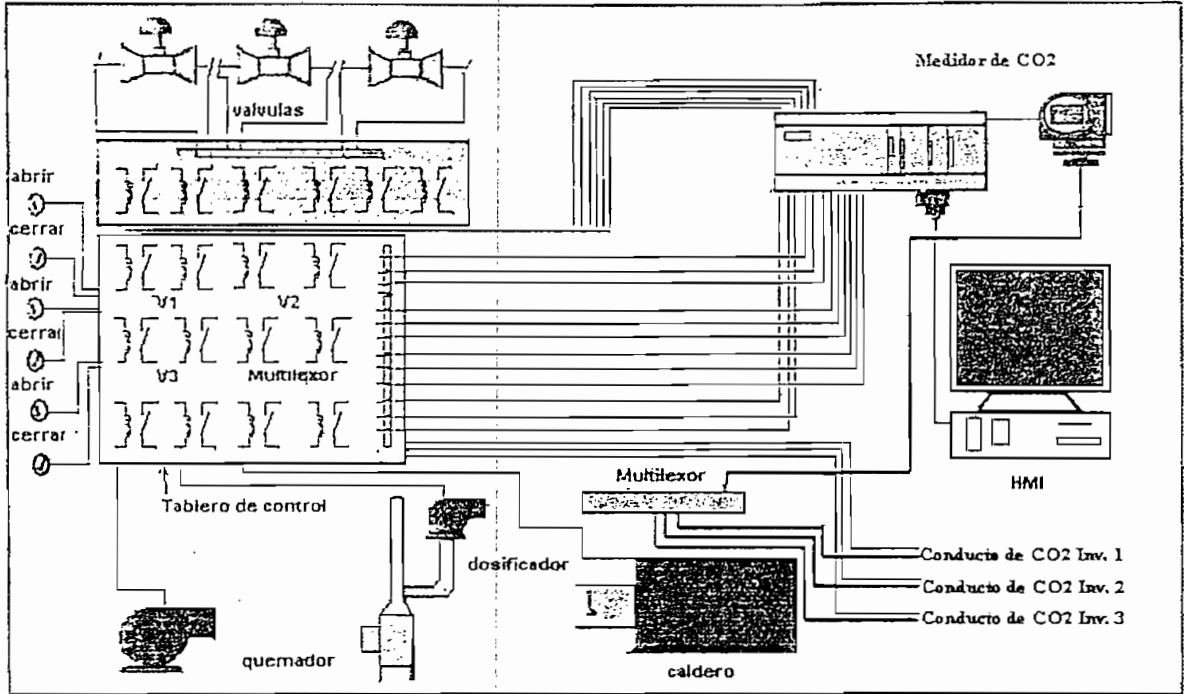


Figura 3.5 Conexión con la zona "Propagación Rosas".

Por el lado del caldero lo que se desea conocer es su estado; por lo tanto, se debe monitorear el estado del quemador, sistema llama-caldero y dosificador. Cada una de las señales desde estos dispositivos se llevan, mediante cable, al sitio donde está el nuevo sistema de control, a una distancia aproximada de 30m. Cada una de las señales que vienen desde el caldero son de 220V e ingresan a relés que a su vez entregan 24 V<sub>DC</sub>, señal que ingresa directamente a las entradas del PLC. De esta manera el PLC sabe el estado de las tres variables del caldero: quemador, sistema llama-caldero y el dosificador de CO<sub>2</sub>.

En lo que respecta a las servoválvulas, el proyecto en la zona "Propagación Rosas" contiene tres servoválvulas de CO<sub>2</sub> de marca BELIMO, situadas en las entradas de cada invernadero y antes de la tubería secundaria dispuesta en el mismo. Estas tienen como características principales un torque máximo de 15 Nm y un tiempo de cambio de estado, de abierto a cerrado o viceversa, de 80 segundos. Las servoválvulas se las controla mediante relés de accionamiento a 24 V, los mismos que operan la válvula para abrirla o cerrarla.

Estas servoválvulas tienen la ventaja de poder ser accionadas, configuradas y leídas sin tener que remover o desmontar su estructura ni mucho menos manipular sus componentes eléctricos. Están constituidas por un compartimiento dónde están los terminales de poder y del servomotor. De esta forma se protege a estos componentes de exposición a la humedad, polvo y otros fenómenos ambientales que pueden causarle daños durante su operación ( Figura 3.6).



Figura 3.6 Servoválvula de CO<sub>2</sub>

Los interruptores de accionamiento manual se encuentran en el tablero de relés.

Los relés están dimensionados para operar con señales de activación de  $24V_{DC/AC}$ , para el caso de las servoválvulas, multiplexor e interruptores, y  $220V_{AC}$  para las señales provenientes del caldero.

El medidor de CO<sub>2</sub> envía una señal analógica de 1 á 5 V<sub>DC</sub>, proporcional a la concentración de CO<sub>2</sub>, al PLC, obviamente a una entrada analógica. El multiplexor tiene como función definir el conducto (y, por lo mismo, el invernadero) desde la cual el medidor de CO<sub>2</sub> está midiendo.

Con el propósito de tener mayor confiabilidad en la medición de la concentración de CO<sub>2</sub> en los invernaderos, hay que prever que las señales no estén expuestas a descargas eléctricas o sobre tensiones; cualquier ruido eléctrico puede también causar errores de medición. Para reducir el efecto del ruido, es factible emplear módulos especiales, como por ejemplo contadores de pulsos de alta frecuencia, que permiten promediar la señal que viene del medidor. Puesto que estos

## Continuación de la Tabla 3.1

Imagen del proceso de E/S		64 DI / 64 DQ
E/S analógicas (ampliación)		16 AI / 16 AQ
Filtros de entrada		Sí
<b>Operaciones</b>		
velocidad de ejecución booleana		,8 $\mu$ s / operación
Contadores/temporizadores		128 / 128
Funciones adicionales		
Interrupciones de comunicación		1 emisor / 1 receptor
<b>Comunicaciones</b>		
Interfaces		1 ( RS - 485)
Protocolos asistidos	Interface 0:	PPI, Freepport
	Interface 1:	N/A
Punto a punto		Sí

### 3.3.2 MÓDULO DE EXPANSIÓN ANÁLOGO EM235 COMBINACIÓN AI 3/AQ 1 X 12 BITS

Este módulo consta de 3 entradas y 1 canal de salida análogos; posee interruptores tipo Dip que permiten seleccionar los niveles de la señal de entrada a los canales, o si es voltaje o corriente. Es posible seleccionar el rango que se necesita con los interruptores 1,3,5,7 y 11, de acuerdo a los requerimientos del usuario, según la Tabla B-3 que consta en el anexo B. Para el proyecto debe configurarse para voltajes de 0 a 5 Vdc.

Número de referencia: 6ES7 235-0KD00-0XA00

Tabla 3.2 Especificaciones módulo analógico

Tamaño Físico	(L x W x D) 90 x 80 x 62 mm
	(3.54 x 3.15 x 2.44 in.)
Peso	0.2 Kg (0.4 lb.)
<b>Características Generales</b>	
potencia de disipación	2 W
Puntos	1 / 3 AI
	1 AO
Voltaje de salida	$\pm 10$ V
Corriente de salida	0 to 20 mA
resolución, full- range	12 bits
Rango de palabra doble	-32000 to +32000
temperatura típica	25 °C
Voltage output	$\pm 2\%$ of full-scale
Current output	$\pm 2\%$ of full-scale
Setting time	100 ms
Alimentación	24 V <sub>DC</sub>
Máximo voltaje de entrada	30 V
Máxima corriente de entrada	32 mA
Resolución	12 bits A / D
tiempo de conversión	< 250 msec
Pasos de respuesta analógica	1.5 ms to 95%

### 3.4 PROTOCOLOS DE COMUNICACIONES DEL PLC S7-214.

Los pórtilos de comunicación serial de la computadora personal trabajan bajo el estándar RS-232. El cable PC/PPI utiliza un conector RS-232 al pórtilo de la computadora personal y un conector RS-485 hacia el PLC.



Con este cable se puede establecer entre el PC y el PLC una comunicación punto a punto (PPI). Para el PLC S7-214 es posible emplear el modo de comunicación Freeport.

A manera de referencia, la Tabla 3.3 muestra los métodos de comunicación con los que pueden trabajar los diferentes PLCs de la serie S7-200.

Tabla 3.3 posibilidades de comunicación de los PLC S7-200

CPU	Interface	Esclavo	Maestro	Esclavo	Esclavo	Freeport	Velocidad de transferencia
		PPI	PPI	PROFIBUS-DP	MPI		
212	0	Sí	No	No	No	Sí	9.6 kbps, 19.2 kbps
214	0	Sí	Sí	No	No	Sí	9.6 kbps, 19.2 kbps
	0	Sí	Sí	No	Sí	Sí	9.6 kbps, 19.2 kbps
							9.6 kbps, 19.2 kbps
							93.75 kbps
215	DP.	No	No	Sí	Sí	No	187.5 kbps, 500 kbps
	DPV2						1 Mbps, 1.5 Mbps
							3 Mbps, 6 Mbps
							12 Mbps
216	0	Sí	Sí	No	Sí	Sí	9.6 kbps, 19.2 kbps
	1	Sí	Sí	No	Sí	Sí	9.6 kbps, 19.2 kbps

### 3.4.1 PROTOCOLO PPI

PPI es un protocolo tipo maestro/esclavo. El maestro (otro PLC, unidades de programación SIMATIC o visualizadores de textos TD200) envía peticiones a los esclavos y éstos responden. El fabricante recomienda que los PLCs de la serie S7-200 actúen de estaciones esclavas en la red, pero, se puede habilitar el modo maestro PPI tal como lo indica la Tabla 3.3. Una vez habilitado el modo maestro PPI se podrán enviar mensajes a otros PLCs, usando las operaciones Leer de la red (NETR) y Escribir en la red (NETW). Mientras actúa de estación maestra PPI, el PLC S7-200 sigue respondiendo en calidad de esclava a las peticiones de otros maestros. En el anexo C se describen todas las funciones que pueden realizar los PLC de la serie S7-200.

El protocolo PPI no limita la cantidad de maestros que pueden comunicarse con un PLC esclavo, pero en realidad no se puede direccionar más de 32 maestros.

### 3.4.2 MODO DE COMUNICACIÓN DEFINIDO POR EL USUARIO (FREEPORT).

Este modo permite al usuario controlar a voluntad la interfaz de comunicación del PLC de la serie S7-200, para crear enlaces con numerosos dispositivos inteligentes.

En modo Freeport, el usuario debe desarrollar un programa para controlar por completo la comunicación. El modo Freeport se habilita con las marcas SMB30 (interface 0) y SMB130 (interfaz 1), y se activa únicamente cuando el PLC se encuentra en modo RUN. Cuando el PLC retorna a modo STOP, la comunicación Freeport se detiene y el interfaz de comunicación vuelve, por omisión, a utilizar el protocolo PPI. El programa de usuario que se desarrolló controla el funcionamiento del interfaz de comunicación utilizando interrupciones de recepción y de transmisión, así como las operaciones Transmitir mensajes (XMT) y Recibir mensaje (RCV).

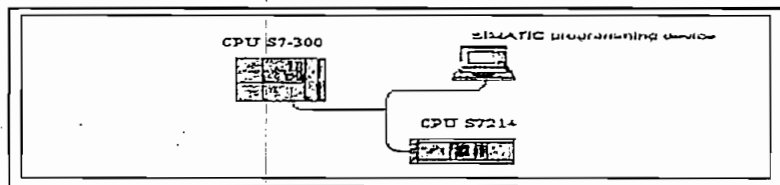


Figura 3.7 PLC 214 conectada a un PLC S7-300 y a una unidad de programación vía interfaz DP.

## 3.5 COMPONENTES PARA LA COMUNICACIÓN

La Figura 3.8 muestra el conector que permite el enlace físico en el interfaz de comunicación y la Tabla 3.4 describe los pines de cada señal.

Se utiliza un conector D subminiatura de 9 pines que obedece al estándar RS-485 conforme al estándar PROFIBUS definido en la norma europea EN 50170.

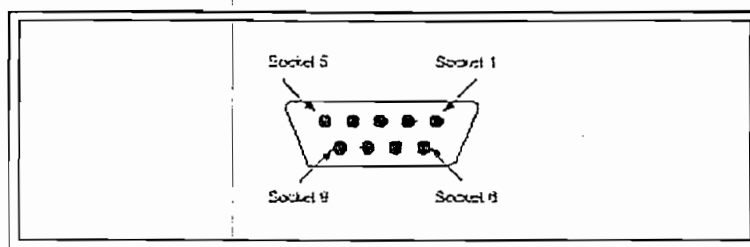


Figura 3.8 Pines del interfaz de comunicación del PLC S7-214.

En la Tabla 3.4 se muestra la distribución de pines del conector DB9. La opción que se utilizó es la referida como Interfaz 0.

Tabla 3.4 Asignación de pines del interfaz de comunicación

Pin	Denominación	Interfaces 0 y 1	Interfaz DP
	PROFIBUS		
1	Blindaje	Hilo lógico	Hilo lógico
2	Hilo de retorno 24 V	Hilo lógico	Hilo lógico
3	Señal B RS-485	Señal B RS-485	Señal B RS-485
4	Request to Send	Sin conexión	Request to Send
5	Hilo de retorno 5 V	Hilo lógico	Isolated +5V return
6	5	5 V, 100 ohmios	5 V, con separación galvánica, 90mA
7	24 V	24 V	24 V
8	Señal A RS-485	Señal A RS-485	Señal A RS-485
9	No aplicable	Sin conexión	Sin conexión
Carcasa del Enchufe	Blindaje	Hilo lógico (CPU 212/214)	Tierra
		Tierra (CPU 215/216)	

VOH = 3.5 V, 1.6 mA, VOL = 0.6 V, 1.6 mA, señal = VOH cuando la CPU está enviando.

En el diagrama de conexiones siguiente se muestran las conexiones totales del hardware del sistema desarrollado e implementado.



100-1100

100-1100

**CAPITULO 4**  
**DESARROLLO DEL SOFTWARE DE SOPORTE**

## CAPITULO 4

### DESARROLLO DEL SOFTWARE DE SOPORTE

Para el control del sistema se desarrollaron dos programas: el primero tiene a su cargo la programación del PLC, el que a su vez se encarga del control del proceso, y el segundo tiene como tarea el monitoreo de los datos enviados por el PLC a la Interfaz Hombre-Máquina, en donde se muestra el proceso en una forma gráfica.

El software de programación del PLC se realizó bajo la plataforma de desarrollo STEP 7-Micro/WIN, versión 3.0, de la compañía Siemens. De sus tres alternativas de lenguaje se tomó el de los diagramas Ladder (escalera).

Por otro lado, por ser uno de los objetivos del proyecto, se utilizó para el desarrollo de la interfaz hombre-máquina el programa Labview de la National Instruments en su versión 5.0. A continuación se describen los pasos seguidos para el desarrollo del software de apoyo del proyecto.

#### 4.1 REQUERIMIENTOS DE HARDWARE.

El Labview y el STEP 7 son plataformas tipo windows que requieren de un hardware mínimo para su instalación y funcionamiento; esto es:

- Computador personal 80486 o superior, 8 MB de memoria RAM o superior.
- Cable PC/PPI para conexión a uno de los puertos de comunicación serial.
- Monitor VGA o superior.
- Mínimo 30 MB de espacio libre en disco duro.
- Microsoft Windows 3.1, Windows para trabajo en grupo 3.11, Windows 95/98 o NT.

Para la instalación de Labview los requerimientos mínimos son:

- Computador personal 80486 o superior, 16 MB de memoria RAM o superior.
- Monitor VGA o superior.
- Mínimo 110 MB de espacio libre en disco duro.
- Microsoft Windows 3.1, Windows para trabajo en grupo 3.11, Windows 95/98 o NT.

## **4.2 DEFINICION DE TAREAS.**

El computador personal (PC) cumple dos tareas importantes: la primera tiene que ver con la programación del PLC, y la segunda con el control y monitoreo del sistema de control de CO<sub>2</sub>. Cabe indicar que mientras la una tarea esté activa la otra no puede estar en funcionamiento ya que utilizan el mismo medio de transmisión de datos. El PLC a su vez tiene la función de controlar el sistema de dosificación de CO<sub>2</sub>.

Para el enlace entre la PC y el PLC se emplea el protocolo maestro/esclavo, siendo el PC el dispositivo maestro mientras el PLC es el esclavo. El protocolo de comunicación, deja la opción de poder comunicarse con un mayor número de PLCs, para lo cual se deberá cambiar la dirección de la estación de destino.

## **4.3 PROGRAMACIÓN DEL PLC EN STEP 7-Micro/WIN.**

### **4.3.1 NOMENCLATURA DE LAS ENTRADAS, SALIDAS Y MÓDULOS DE AMPLIACIÓN**

Para direccionar e identificar las entradas y salidas digitales en el PLC se utiliza la siguiente nomenclatura: al área de entrada se identifica por "I" y la salida por "Q", seguido del número de Byte y del número de bit, separándose los números con un punto, como se muestra en la Figura 4.1.

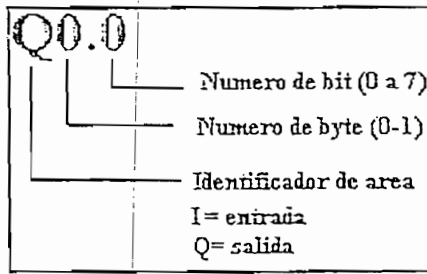


Figura 4.1 Identificación de las entradas y salidas digitales

Asimismo, para identificar y direccionar a las entradas y salidas analógicas se utiliza "AI" para las entradas y para las salidas "AQ", seguido del número de Byte y del número de bit, separándose los números con un punto, como se muestra en la Figura 4.2.

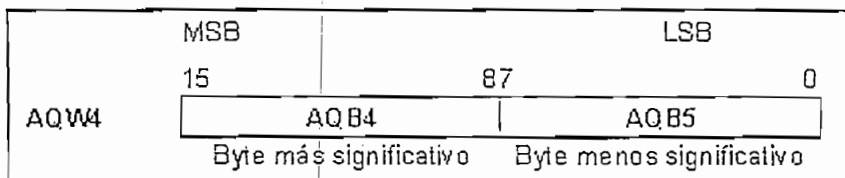
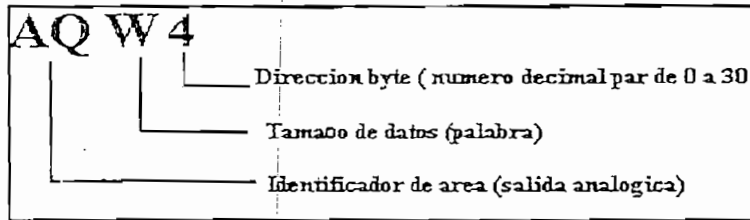


Figura 4.2 Direccionamiento analógico de las entradas

Las entradas y salidas analógicas tienen una resolución de 16 bits.

La Tabla 4.1 muestra la identificación de todas las entradas y salidas que están disponibles en el PLC S7-214.

Tabla 4.1 Entradas y salidas disponibles

	CPU 214	3 AI/ 1 AQ
	I0.0	Q0.0 AIW0
	I0.1	Q0.1 AIW2
	I0.2	Q0.2 AIW4
	I0.3	Q0.3 AQW0



Continuación de la Tabla 4.1

I0.4		Q0.4	
I0.5		Q0.5	
I0.6		Q0.6	
I0.7		Q0.7	
I1.0		Q1.0	
I1.1		Q1.1	
I1.2			
I1.3			
I1.4			
I1.5			

#### 4.3.2 MEMORIA DEL PLC S7-214

La memoria del PLC esta dividida en tres áreas: memoria de programa, memoria de parámetros configurables y memoria de datos, donde la memoria de parámetros y parte de la memoria de datos están almacenadas en una memoria EEPROM no volátil.

En la memoria de programa se encuentra almacenado el programa del usuario. Contiene las instrucciones en el lenguaje de programación KOP. Esta área de memoria gestiona la memoria de datos y de las entradas y salidas del PLC. La memoria de programa se denomina Bloque principal OB1.

En la memoria de parámetros configurables se encuentran los parámetros de configuración prefijados por los fabricantes o modificados en el programa. Los parámetros configurables comprenden por ejemplo el nivel de protección, direcciones de equipos y definiciones de áreas de memoria remanentes.

Finalmente, en la memoria de datos se almacena el programa de aplicación y comprende un área de datos y de objetos. Contiene direcciones para cálculos, memoria temporal para resultados intermedios y constantes. Además, allí se almacenan también los valores de dispositivos tales como temporizadores, contadores, contadores rápidos, así como los de las entradas y salidas analógicas.

Tabla 4.2 Áreas de la memoria

Acceso por:	CPU 214	Áreas
Bit (Byte.bit)	V	0.0 - 4095.7
	I	0.0 - 7.7
	Q	0.0 - 7.7
	M	0.0 - 31.7
	SM	0.0 - 85.7
	T	0 - 127
	Z	0 - 127
Byte	VB	0 - 4095
	IB	0 - 7
	QB	0 - 7
	MB	0 - 31
	SMB	0 - 85
	AC	0 - 3

Acceso por:	CPU 214	Áreas
Palabra	VW	0 - 4094
	T	0 - 127
	Z	0 - 127
	IW	0 - 6
	QW	0 - 6
	MW	0 - 30
	SMW	0 - 84
	AC	0 - 3
	AIW	0 - 30
	AQW	0 - 30
	constantes	
Palabra doble	VD	0 - 4092
	ID	0 - 4
	QD	0 - 4
	MD	0 - 28
	SMD	0 - 82
	AC	0 - 3
	HC	0 - 2

Tamaño de los datos	Área sin signo		Área con signo	
	Decimal	Hexadecimal	Decimal	Hexadecimal
B (byte)	0 a 255	0 a FF	-128 a 127	80 a 7F
W (palabra)	0 a 65535	0 a FFFF	-32768 a 32767	8000 a 7FFF
D (palabra doble)	0 a 4292967295	0 a FFFFFFFF	-2147483648 a 2147483647	8000000 a 7FFFFFFF

### 4.3.3 INTERRUPTACIONES DE COMUNICACIÓN

Las interrupciones de transmisión y recepción permiten al programa controlar la comunicación en modo Freeport. Existen dos interrupciones de comunicación para el PLC: recibir y transmitir. La interrupción de "recepción" tiene asociada el número de evento "8" y la interrupción "fin de la transmisión" tiene asociada el número de evento "9".

Para trabajar en modo Freeport es preciso que el autómatas programable esté en modo RUN. El modo Freeport se habilita escribiendo el código 16#49 en el

campo de selección de protocolo SMB30. Antes de cambiar a modo Freeport debe leerse el registro SM0.7, el cual indica la posición del selector de modo. Si SM0.7 es cero el selector está en la posición TERM, caso contrario está en modo RUN.

Cada carácter recibido es cargado en SMB2, que es el buffer de recepción en modo Freeport. El autómata activa la marca SM3.0 (0= sin error; 1= error) si detecta un error de paridad y SM4.5 indica el fin de la transmisión.

El comando XMT posibilita la transmisión de datos, con esta operación se puede transmitir un buffer máximo de 255 caracteres. Al transmitirse el último carácter del buffer se genera una interrupción, siempre que se haya asociado una rutina de interrupción al evento "fin de la transmisión". La recepción de datos se controla mediante interrupciones. Cada vez que se recibe un carácter se genera una interrupción, el carácter se deposita en SMB2 y el estado de paridad, si está habilitado, en SM3.0.

Como se utiliza el cable PC/PPI para el modo Freeport se deberán dejar pasar como mínimos dos caracteres entre una transmisión y una recepción.

Para el PLC, un ciclo de trabajo (Scan) comprende:

- El PLC lee el estado de todas las entradas conectadas al mismo y las almacena en memoria (imágenes de las entradas del proceso).
- El PLC utiliza dichas entradas para evaluar y de allí ejecutar la lógica del programa de control.
- Tras ejecutar el programa, el PLC almacena los resultados en la imagen de las salidas del proceso.
- Finalmente, el PLC escribe los datos de las salidas de la imagen del proceso en las salidas físicas.
- El ciclo de tareas se repite.

Este comportamiento cíclico se muestra en la Figura 4.3.

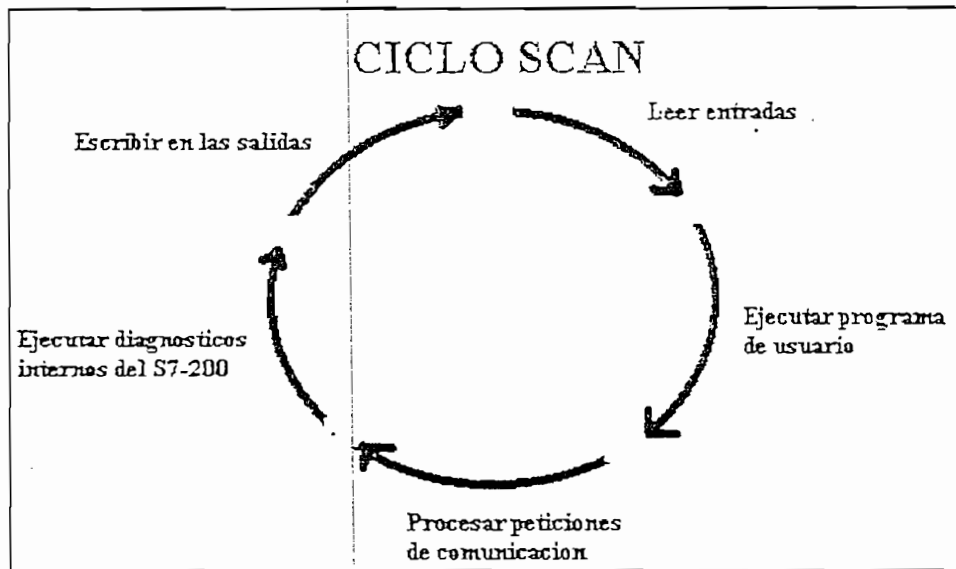


Figura 4.3 Ciclo Scan

Con STEP 7- Micro/WIN un solo archivo (\*.mwp) contiene todos los datos del proyecto. En la pantalla principal de esta aplicación se presenta el árbol de operaciones con todos los componentes del proyecto y el juego de operaciones del PLC.

Un programa de usuario o proyecto ha desarrollarse comprende cinco componentes básicos como se muestra en la Figura 4.4. Los cinco componentes son:

- Bloque de programa.
- Bloque de datos.
- Bloque de sistema.
- Tabla de símbolos.
- Tabla de estado.

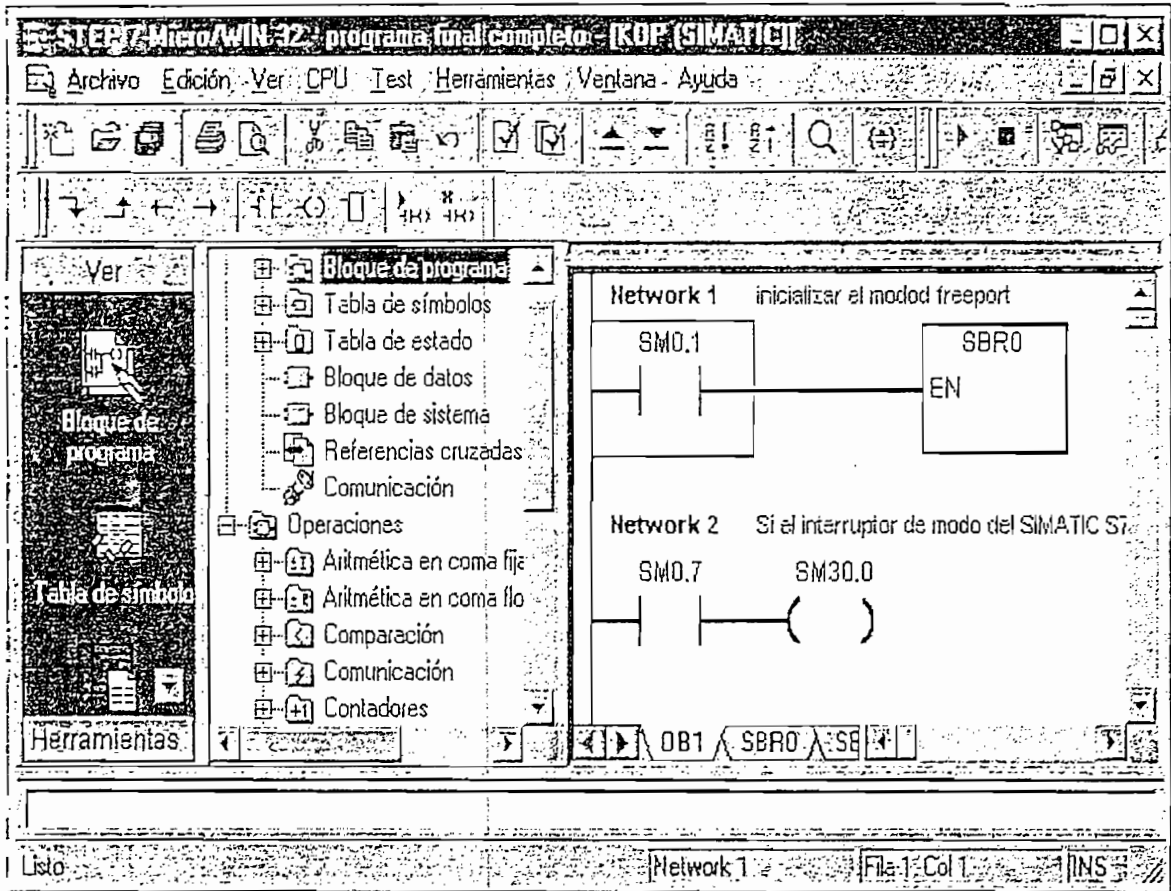


Figura 4.4 Programa Step 7- Micro/WIN.

*El bloque de programa* incluye el código fuente y los comentarios. El código fuente comprende un programa principal (OB1), así como subrutinas y/o rutinas de interrupción (opcionales). El código se compila y se carga en el PLC, mas no los comentarios del programa.

*El bloque de datos* comprende los datos (valores iniciales de memoria, valores de constantes) de las variables y comentarios. Los datos se compilan y se cargan en el PLC, pero no los comentarios.

*El bloque de sistema* comprende los datos de configuración, tales como: los parámetros de comunicación, si se emplean filtros para las entradas analógicas y

digitales, los valores de las salidas en caso de un cambio a STOP y si se emplea protección con contraseña y cual es esta. La información contenida en el bloque de sistema se carga en el PLC.

**La tabla de símbolos** permite utilizar direccionamiento simbólico para la programación; esto es, permite definir, por ejemplo, a una entrada I0.0 como "quemador". En algunos casos es más conveniente programar con símbolos, puesto que facilitan el entendimiento del programa. El programa compilado que se carga en el PLC convierte todos los símbolos a sus direcciones reales. La información contenida en la tabla de símbolos no se carga en el PLC.

**La tabla de estado** mantiene un registro sobre el estado de las entradas y salidas del PLC. Esta tabla no se carga en el PLC.

Si un proyecto se modifica en STEP 7-Micro/WIN 32, el proceso no se verá afectado hasta que los cambios no se hayan cargado en el PLC.

#### 4.3.4 LA TRAMA DEL PROTOCOLO DE TRANSMISIÓN / RECEPCIÓN.

Tal como se indicó, en modo Freeport es posible definir la forma en que se transmitirán los datos ha o desde el PLC. El dato a enviarse o recibirse se lo encapsula dentro de una trama compuesta de los campos que se muestran en la Figura 4.5.

Inicio	Dirección	Datos	Fin
2	0-31	N	255 ó # datos

Figura 4.5 Campos de la estructura para transmisión y recepción.

**Campo inicio** contiene el Byte de inicio de la estructura el cual es el número "2". Los programas realizados en Labview y STEP-7 verifican que el número sea el indicado, caso contrario, no se decodifican los otros campos de la estructura. Si el PLC tiene como inicio de la trama el número "2", el computador tiene un "0".

**Campo dirección** es el número de la estación con la cual se desea realizar la comunicación. Las direcciones válidas están entre "0" y "31". El PLC que contenga la dirección a la cual desea acceder el PC será el que recibe la señal y, de ser requerido por el PC, transmitirá los datos al mismo.

**Campo Fin** contiene la información que indica el fin de la transmisión. Si se transmite del PC al PLC el fin de transmisión es el número "255". El PLC está revisando continuamente que el Byte recibido sea "255" y, al detectar su presencia, finalizará la transmisión. Cuando se transmite del PLC al PC, el número indica los Bytes que se han transmitido. Para este proyecto se utilizó 20 Bytes. Por lo tanto, el programa de Labview una vez que detecta la llegada de 20 Bytes realiza la actualización de los datos en pantalla.

**Campo de datos** contiene la información generada por la PC y por los dispositivos de campo; es decir, son los datos que requiere el PLC para efectuar el control y monitoreo del proyecto. Los datos son leídos cada 200 ms, tiempo que se definió en forma experimental para el Labview.

El formato de los datos que se reciben en el PLC desde los dispositivos de campo o desde la PC tiene la estructura siguiente:

Recepción de datos			
IB0	IB0	IB1	FIN
4 LSB	4 MSB		
Byte 1	Byte 2	Byte 3	Byte 4
VB1	VB2	VB3	VB4

Figura 4.6 Recepción de datos en el PLC.

Donde: VB# es el nombre de la variable dentro del programa y en la memoria V (memoria de variable).

Como se indica, en el buffer de recepción del PLC se adquieren los datos en el orden señalado: los tres primeros Bytes son los estados actuales de la imagen de las entradas digitales, seguidos por el Byte que indica fin de recepción.

Al transmitirse desde el PLC hacia la PC o hacia los dispositivos de campo, el campo de datos contiene:

1. El número de datos a transmitirse,
2. El Byte de inicio,
3. El número de PC,
4. Los datos de las entradas y salidas digitales y las entradas analógicas,
5. El día de la semana,
6. La hora en tiempo real del PLC,
7. El minuto en tiempo real del PLC,
8. Tiempo de activado, y
9. Fin de la transmisión.

Este formato se indica a continuación en la Figura 4.7.

Transmisión de datos										
# de bytes	byte de	# de PC	IB0	IB1	QB0	QB1	AIW0	AIW0	AIW0	AIW2
	inicio									
20	VB301	VB302	VB303	VB304	VB305	VB306	VW307	VW309	VW311	VW313

Día de la	Hora del	Minuto del	Tiempo	Fin de
Semana	PLC	PLC	activado	transmisión
VB315	VB316	VB317	VW318	VB320

Figura 4.7 Transmisión de datos del PLC a la PC.



Para realizar una correcta interpretación de los datos hay que mantener el orden tanto en el PLC como en la PC.

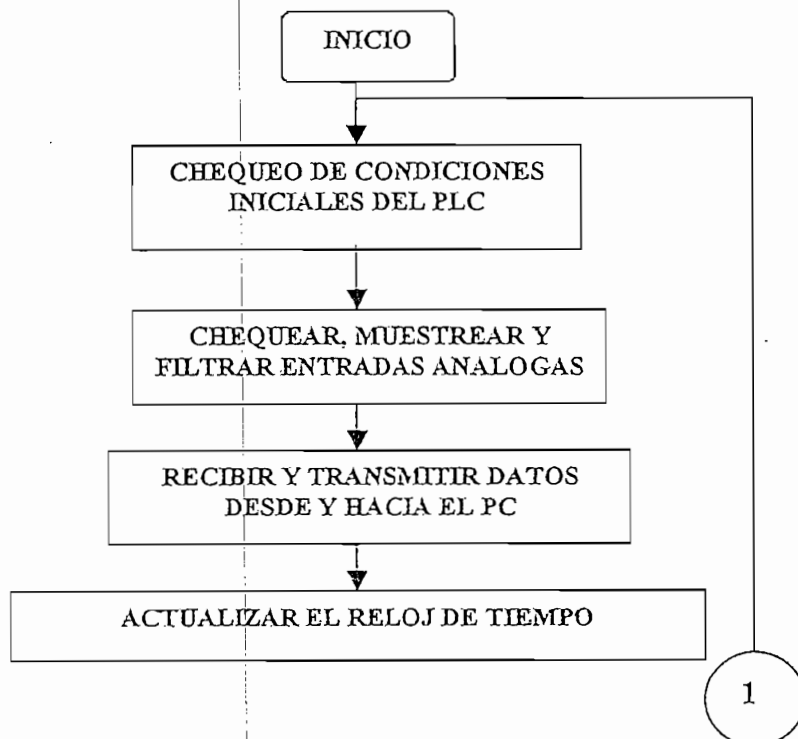
Teniendo en cuenta las necesidades que involucran el control y monitoreo del CO<sub>2</sub> en la zona "Propagación Rosas", se han desarrollado las siguientes rutinas y subrutinas en la programación del PLC.

- Programa principal.
- Subrutina "0" hasta subrutina "11".
- Rutinas de interrupción desde la INT 0 hasta INT 6.

A continuación se describen los componentes del programa.

#### 4.3.5 PROGRAMA PRINCIPAL

El programa principal consta de seis partes básicas como se muestra en la Figura 4.8.



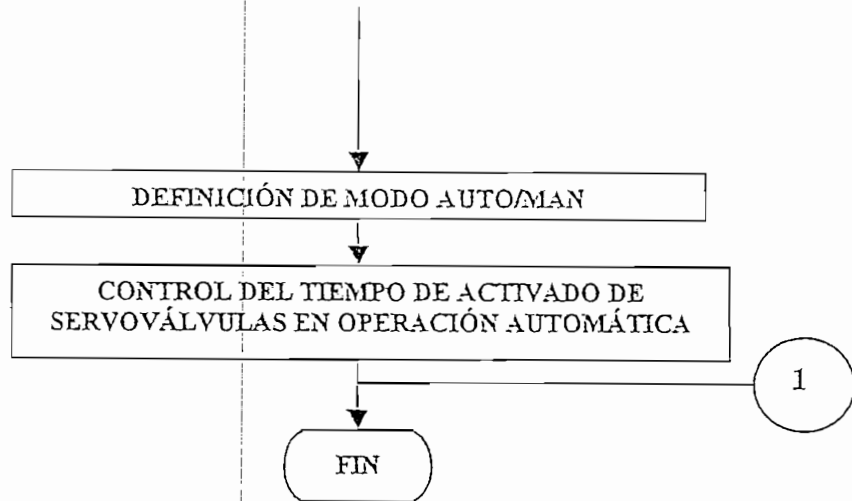


Figura 4.8 Diagrama del programa principal en el PLC

#### CHEQUEO DE CONDICIONES INICIALES DEL PLC

Se refiere al chequeo de las condiciones iniciales donde consta: subrutina 0 para iniciación, chequeando si el interruptor de modo está en Run para poner en modo Freeport, ó, si está en TERM para poner en modo PPI.

#### CHEQUEAR, MUESTREAR Y FILTRAR ENTRADAS ANALOGAS

Aquí se invoca a las subrutinas de la "1" a la "4" para chequear, hacer un muestreo y filtrar los valores de concentración de CO<sub>2</sub> de los tres invernaderos presentes en las entradas analógicas, todas estas de 0 á 5 Vdc. Se dispone de una opcional para el medidor de CO.

#### RECIBIR Y TRANSMITIR DATOS DESDE Y HACIA EL PC

Aquí se actualizan las entradas digitales del PC y del PLC obtenidas en la subrutina "5".

#### ACTUALIZAR EL RELOJ DE TIEMPO

Se refiere a la actualización del reloj de tiempo. Este reloj es implementado en la subrutina "6".

#### DEFINICIÓN DE MODO AUTO/MAN

Se refiere a definir entre los dos modos de operación: automático o manual. Si se selecciona modo manual se recurre a la subrutina "10", deshabilita las subrutinas de operación automática y mueve las válvulas de cada uno de los bloques de acuerdo como disponga el operador con los interruptores dispuestos en el tablero de control, o vía software utilizando el Labview.

#### CONTROL DEL TIEMPO DE ACTIVADO DE SERVOVÁLVULAS EN OPERACIÓN AUTOMÁTICA.

Si se seleccionó modo automático, aquí se desarrolló un algoritmo que compara los valores medidos desde los tres invernaderos con el objeto de determinar el mayor de los tres valores. Dependiendo de cual es mayor se invoca las subrutinas desde la "7" a la "9", las que actúan sobre las servoválvulas de los invernaderos 1, 2 y 3, respectivamente, hasta que todos tengan una concentración igual a la del invernadero de mayor concentración. Dentro de las subrutinas 7, 8 y 9 se invoca a la subrutina "11" que convierte las diferencias de concentraciones en tiempos en base a los cuales se moverán las servoválvulas de alimentación del CO<sub>2</sub>.

##### 4.3.5.1 Subrutinas

Para la descripción de las funciones de las subrutinas se emplea lenguaje estructurado que es ahora el estándar para este tipo de tareas.

##### *Subrutina "0"*

En esta subrutina se inicializa las localidades de memoria para las entradas y salidas analógicas:

Para el invernadero # 1 (AIW<sub>01</sub>) desde VW200 a VD222.

Para el invernadero # 2 (AIW<sub>02</sub>) desde VW500 a VD522.

Para el invernadero # 3 (AIW<sub>03</sub>) desde VW600 a VD622.

Para el sensor de CO (AIW<sub>2</sub>) desde VW250 a VD276.

## INICIO:

- Inicializar el modo Freeport (SMB30) a 9600 bps, 8 bits / carácter, paridad par.
- Inicializar el buffer de recepción y transmisión.
- Establecer el tiempo de chequeo de la línea de comunicación entre el PLC y el PC en 6ms para la subrutina de interrupción "0".
- Si hay mensaje llamar a la subrutina de interrupción 1.
- Inicializar las entradas digitales y áreas de memoria que se utilizará en el programa.
- Leer el reloj de tiempo real y cambiar el formato de horas y minutos, de BCD a entero para transmitirlos al PC.
- Retornar a la rutina de inicialización.

FIN

*Subrutina "1"*

## INICIO

- Revisar los bits SMB8 y SMB9 (para chequear el correcto funcionamiento del módulo analógico).
- Si SMB8= 16#19 o SMB9 =16#0 , hay algún error, detener el PLC.
- Realizar la lectura de la entrada analógica AIW0 y pasar a la localidad de memoria VW212 para procesarla (VW212 es el valor de concentración del invernadero #1).
- Incrementar el contador para realizar el promedio de 128 muestras.
- Alcanzar el valor de muestras, pasar el valor a otra localidad, dividir y reiniciar la suma y el contador para AIW0.

FIN

*Subrutina "2"*

## INICIO

- Revisar los bits SMB8 y SMB9 (para chequear el correcto funcionamiento del módulo analógico).
- Si SMB8= 16#19 o SMB9 =16#0 , hay algún error, detener el PLC.

- Realizar la lectura de la entrada analógica AIW2 y pasar a la localidad de memoria W262 para procesarla (W262 es el valor de concentración de CO en los dosificadores).
- Incrementar el contador para realizar el promedio de 128 muestras.
- Alcanzar el valor de muestras, pasar el valor a otra localidad, dividir y reiniciar la suma y el contador para AIW2.

FIN

*Subrutina "3"*

INICIO

- Revisar los bits SMB8 y SMB9 (para chequear el correcto funcionamiento del módulo analógico).
- Si SMB8 = 16#19 o SMB9 = 16#0, hay algún error, detener el PLC.
- Realizar la lectura de la entrada analógica AIW0 y pasar a la localidad de memoria W512 para procesarla (W512 es el valor de concentración del invernadero #2).
- Incrementar el contador para realizar el promedio de 128 muestras.
- Alcanzar el valor de muestras, pasar el valor a otra localidad, dividir y reiniciar la suma y el contador para AIW0.

FIN

*Subrutina "4"*

INICIO

- Revisar los bits SMB8 y SMB9 (para chequear el correcto funcionamiento del módulo analógico).
- Si SMB8 = 16#19 o SMB9 = 16#0, hay algún error, detener el PLC.
- Leer la entrada analógica AIW0 y pasar el valor a la localidad de memoria W612 para procesarla (W612 es el valor de concentración del invernadero #2).
- Incrementar el contador para realizar el promedio de 128 muestras.
- Alcanzar el valor de muestras, pasar el valor a otra localidad, dividir y reiniciar la suma y el contador para AIW0.

FIN

*Subrutina "5"*

INICIO

- Actualizar los valores de las entradas enviadas por el PC.
- Transferir los valores actualizados de entradas analógicas / digitales y salidas digitales al buffer de transmisión.
- Enviar al buffer de transmisión el día de la semana, la hora y minuto actuales del PLC.

FIN

*Subrutina "6"*

INICIO

- Leer el reloj de tiempo real cada 30 segundos y almacenar este valor en localidades de memoria V, a partir de VB100.
- Transformar la hora y minutos actuales de formato BCD a entero y almacenarlo en localidades de memoria para luego desplazarlas al buffer de transmisión.

FIN

Para el correcto funcionamiento de las subrutinas en modo automático (7, 8 y 9) se realiza siempre un chequeo del estado del interruptor I0.6 en el programa principal, que indica si el PLC está trabajando en modo automático o manual. Las subrutinas 7, 8 o 9 son seleccionadas dependiendo de cual es el invernadero con valor mayor de concentración determinado por el programa principal.

*Subrutina "7"*

INICIO

- Determinar la diferencia que existe entre el valor de concentración del invernadero #1 con el de invernadero 2 y con el del invernadero 3. Almacenar las diferencias en las localidades de memoria VW524 y VW624, respectivamente.

- Transferir los valores de diferencia entre 1 y 2 y entre 1 y 3 a las localidades VW550 y VW552, respectivamente. Determinar la mayor diferencia.
- Si  $VW550 > VW552$ , abrir servoválvula en invernadero # 2, según el tiempo de activado que indique la subrutina 11.
- Si  $VW552 > VW550$ , abrir servoválvula en invernadero # 3, según el tiempo de activado que indique la subrutina 11.

FIN

#### *Subrutina "8"*

INCIO

- Determinar la diferencia que existe entre el valor de concentración del invernadero #2 con el de invernadero 1 y con el del invernadero 3. Almacenar las diferencias en las localidades de memoria VW224 y VW624, respectivamente.
- Transferir los valores de diferencia entre 1 y 2 y entre 1 y 3 a las localidades VW550 y VW552, respectivamente. Determinar la mayor diferencia.
- Si  $VW550 > VW552$ , abrir servoválvula en invernadero # 1, según el tiempo de activado que indique la subrutina 11.
- Si  $VW552 > VW550$ , abrir servoválvula en invernadero # 3, según el tiempo de activado que indique la subrutina 11.

FIN

#### *Subrutina "9"*

INICIO

- Determinar la diferencia que existe entre el valor de concentración del invernadero #3 con el de invernadero 1 y con el del invernadero 2. Almacenar las diferencias en las localidades de memoria VW224 y VW524, respectivamente.
- Transferir los valores de diferencia entre 1 y 2 y entre 1 y 3 a las localidades VW550 y VW552, respectivamente. Determinar la mayor diferencia.
- Si  $VW550 > VW552$ , abrir servoválvula en invernadero # 1, según el tiempo de activado que indique la subrutina 11.

- Si  $VW552 > VW550$ , abrir servoválvula en invernadero # 2, según el tiempo de activado que indique la subrutina 11.

FIN

En el programa principal se chequea la señal en la entrada I0.6 que indica si el PLC se encuentra en modo manual o automático. Si la entrada I0.6 está cerrada, el PLC se encuentra en modo manual.

#### *Subrutina "10"*

Cada una de las tres servoválvulas es accionada por dos switch: uno para cerrar y el otro para abrir, los mismos que están dispuestos en orden desde la I1.0 a la I1.5. También se les puede accionar vía software, utilizando el programa desarrollado en Labview.

#### INICIO

- Si la entrada I0.6 esta cerrada, mover las servoválvulas manualmente, de la siguiente manera:
  - I1.0 = abrir servoválvula en invernadero #1.
  - I1.1 = cerrar servoválvula en invernadero #1.
  - I1.2 = abrir servoválvula en invernadero #2.
  - I1.3 = cerrar servoválvula en invernadero #2.
  - I1.4 = abrir servoválvula en invernadero #3.
- I1.5 = cerrar servoválvula en invernadero #3.

FIN

#### *Subrutina "11"*

Esta subrutina permite calcular el tiempo de activado de las servoválvulas en modo automático, de acuerdo al valor presente en VW554 (un valor entero desde 0 hasta 32767). Este valor es convertido a valores en el rango de 0 a 55 segundos. A mayor diferencia en la concentración de CO<sub>2</sub> entre los invernaderos, mayor es el tiempo de movimiento de las servoválvulas. Aproximadamente, por cada 13 segundos de activación de la servoválvula se tiene un movimiento de 15



Finalmente, la interrupción "6" restablece las condiciones iniciales para recibir nuevos datos enviados por el Labview.

Se retorna de las rutinas de interrupción.

#### 4.3.6 DESARROLLO DEL SOFTWARE DE ADMINISTRACIÓN EN LABVIEW

Para el desarrollo de la interfaz hombre-máquina en la PC se utilizó el paquete de programación gráfica Labview versión 5.0.

El Labview se caracteriza por ser controlado por eventos; lo que se ajusta al concepto de que una interfaz Hombre-Máquina debe iniciar acciones como consecuencia de eventos producidos por el operador, mensajes del sistema o de otras aplicaciones como, por ejemplo, una lectura correcta desde el PLC o desde la propia aplicación, o la ejecución de un Timer.

Al crear la Interfaz Hombre-Máquina hay que tomar en cuenta quien va ser el usuario final: el ingeniero de proceso o de mantenimiento, el operador, el administrador, o si la adquisición de datos se lo va realizar a niveles gerenciales. En el caso de este proyecto, la interfaz es utilizada por el operador y, consecuentemente, las pantallas gráficas deben ser diseñadas para que éste pueda interactuar con facilidad con el programa, comprender y reaccionar rápidamente frente a lo que esté ocurriendo y así realizar acciones correctas y eficaces.

Para comenzar a diseñar la interfaz se empleó mucho tiempo hasta obtener una idea clara y precisa de lo que debía visualizarse en la pantalla, procurando emplear íconos que se asemejen a los elementos e instrumentos existentes en el campo, por ejemplo, íconos que representen al quemador, caldero o al dosificador de CO<sub>2</sub>.

La interfaz desarrollada empieza con el, así denominado, "panel frontal" que muestra una representación gráfica de la distribución física de los instrumentos. El panel frontal se muestra a continuación, en la Figura 4.9.

- Sistema del quemador (identificado como I0.0) representado como un indicador en forma de motor cambiando su estado del color azul (OFF) al color amarillo (ON).
- Sistema llama y caldero (identificado como I0.1) representado por dos indicadores cilíndricos cambiando su estado, del color azul (OFF) al color rojo (ON).
- Sistema del dosificador de CO<sub>2</sub> (identificado como I0.2) representado por un indicador de la misma forma al que se tiene en la plantación, cambiando su estado, del color azul (OFF) al color amarillo (ON).
- Al costado medio derecho se muestran rectángulos que representan a los tres invernaderos que se controlan en el proyecto, identificados como bloque1, bloque 2 y bloque 3. Sobre los rectángulos se sobrepone el sistema de tuberías y conductos de CO<sub>2</sub>. Además, se encuentra las servoválvulas dispuestas en cada uno de los invernaderos, identificados como: valv1, valv2 y valv3. Cuando se lee la concentración de CO<sub>2</sub> de un invernadero, debajo del mismo aparece una texto que dice "Midiendo CO<sub>2</sub>" y las tuberías cambian de color.
- Cada servoválvula cambia su estado del color rojo (OFF) al color verde (ON).

Finalmente, en la parte inferior se presentan conjuntamente los controles para el accionamiento manual de las servoválvulas ( Figura 4.10) y las luces indicadoras.

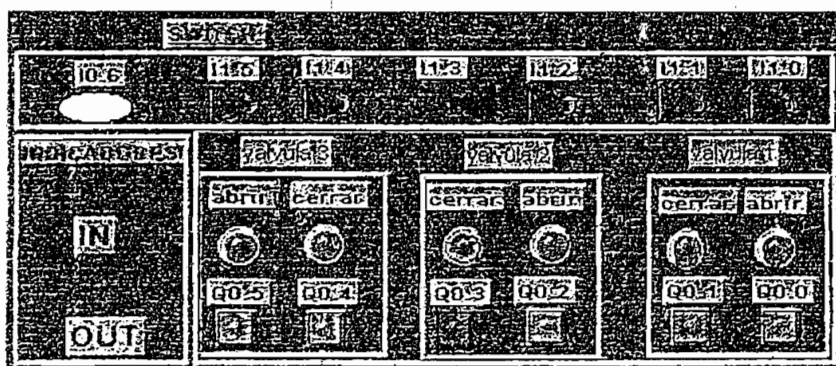


Figura 4.10 Switch e indicadores en el panel frontal

Cada interruptor (I1.0 al I1.5) cambia del color plomo (OFF) al color azul (ON); al mismo tiempo, la luz indicadora de accionamiento de la entrada en el PLC cambia del plomo (OFF) al color amarillo (ON). Seguidamente, y si la comunicación entre el PC y el PLC está correcta, se indica el movimiento de la servoválvula con la luz indicadora correspondiente cambiando su estado entre el color plomo (OFF) al color verde (ON).

En el diagrama de control del VI "Tesis" se tiene la secuencia 0, para configurar el puerto serie tal como se muestra en la Figura 4.11. La configuración del puerto serie implica la definición de los parámetros siguientes:

- Tamaño de buffer: 1 Kbyte.
- Puerto de comunicación serial: COM 0.
- Velocidad de transmisión: 9600 bps.
- 8 bits de datos.
- 1 bit de parada.
- Paridad par.

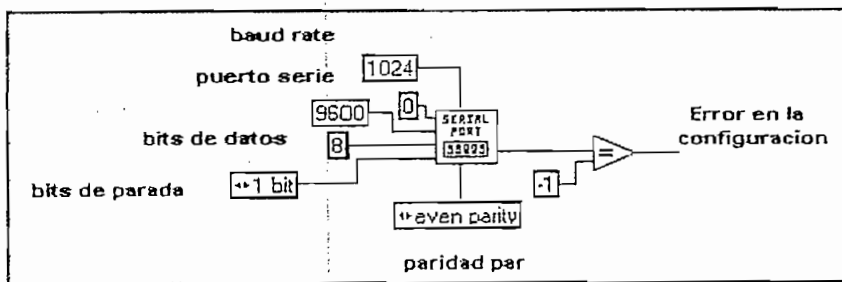


Figura 4.11 Configuración del puerto serie

Una vez configurado el puerto serie se pasa a la secuencia "1" la cual consta de cuatro partes importantes: escribir en el PLC (Tx), leer del PLC (Rx), y los subVIs del VI principal.

### Escribir en el PLC.

Esta parte del programa envía los datos generados desde el Labview hacia el PLC, donde el programa residente en el PLC recibe la información, la decodifica y ejecuta el algoritmo pertinente para controlar y monitorear el sistema implementado.

Los datos enviados por Labview están estructurados de la siguiente manera:

- El Byte de inicio seleccionado con el número "2".
- El número de la estación a la que se transmite los datos. Se utiliza el número "2" por tener un solo PLC y por ser la dirección estándar de este tipo de sistemas automáticos. Si se requiere mayor número de PLCs se debe variar entre " 0 a 31", dando un número a cada conexión en red, direccionando hasta un máximo de 32 esclavos. Todos los dispositivos que formen parte de la red deberán tener direcciones unívocas para comunicarse entre sí.
- Valores de las entradas digitales generadas en Labview desde la I0.0 hasta la I1.5.
- Finalmente se tiene un Byte de fin de transmisión. Para el proyecto se selecciona el número "255" pero se da la posibilidad al programador de cambiarlo según su criterio.

Hay que tomar en cuenta que en la programación en Labview se suma "10" a los datos de entrada digital para no confundirse con el Byte de inicio y número de la estación. De la misma manera, en el programa para el PLC a estos datos se los decodifica restándoles "10" para obtener la verdadera señal de las entradas digitales.

Los datos se envían desde el pórtilo serial del PC cada 200 ms. Este tiempo se lo encontró experimentalmente de entre los sugeridos ( $2^{32}-1$  a 0 ms) por el fabricante y es el que permitía observar en la pantalla del PC el efecto del cambio enviado al PLC. Previo al envío de los datos al puerto se los empaqueta de acuerdo al formato que sigue en la Figura 4.12.

Inicio	Dirección	Datos	Fin
2	0	N	255 ó # datos

Figura 4.12 Sintaxis de los datos de transmisión

Para conseguir este formato, en el Labview se desarrolló el VI de la Figura 4.13, cuyos componentes principales se los describe a continuación:

Para transmitir valores boléanos se los agrupa en un arreglo (array) mediante el comando *Build Array*.

Una vez agrupados los valores boléanos en un array se los convierte en un byte cuyos bits contienen la información de los valores (controles) lógicos que se desean transmitir. Para este propósito se utiliza el operador *Boolean array to number*.

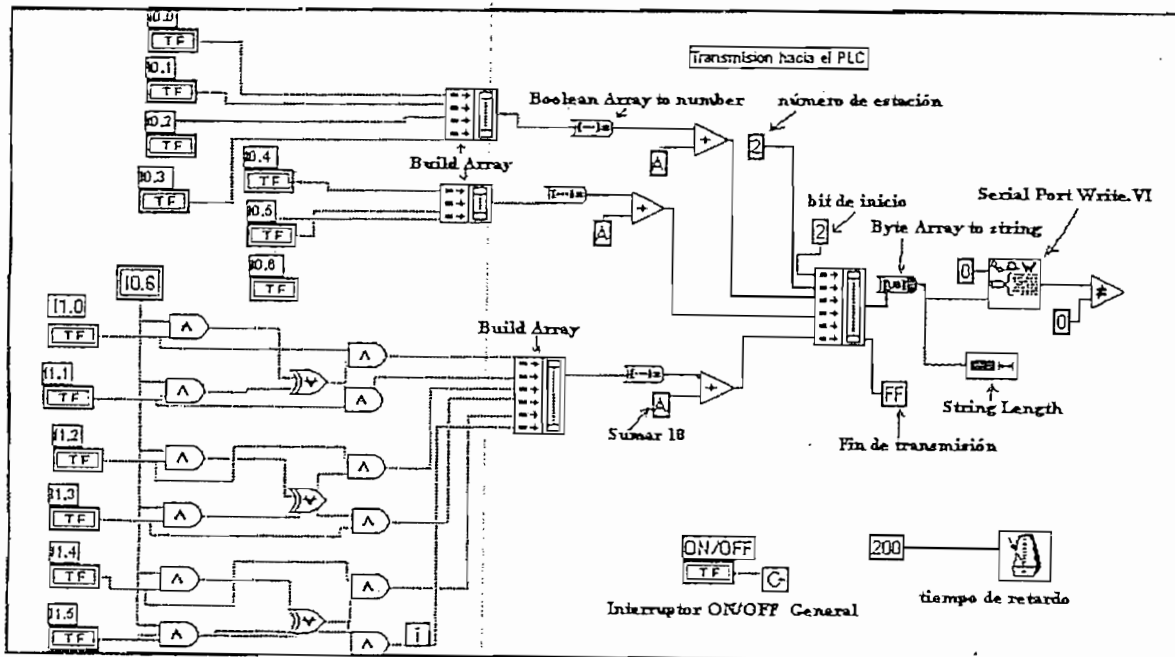


Figura 4.13. Transmisión de datos.

Como último paso se convierte el arreglo numérico en una cadena de caracteres (string) para que la información pueda escribirse en el puerto serie, mediante el comando *Byte array to String*.

Con los datos ya en forma de string, se los envía a su correspondiente entrada en el icono *Serial Port Write.vi* (Figura 4.13) para ser escritos en el puerto serie y enviarlos al PLC. El orden que se muestra, fue diseñado tal que se evite en lo posible un desorden en este panel de control.

### Leer del PLC.

Los datos enviados desde el PLC son igualmente agrupados en Bytes, cada uno con un significado específico (Figura 4.14). Para recibir estos datos por el puerto serie se desarrolló en el PC el algoritmo "recepción de datos". Este algoritmo empieza ejecutando un bucle que se encarga de esperar la recepción de Bytes de información para lo cual se realizan consultas periódicas con el *Byte at serial port.vi*. Cuando los datos lleguen, este comando lee hasta que el número de Bytes almacenados en el puerto sea del tamaño predefinido (20 Bytes). A partir de ese momento, el VI pasa a recibir los datos enviados por el PLC por medio del comando *Serial Port Read.vi* que entrega los datos leídos desde el buffer de recepción. Hay que tomar en cuenta que una vez leída cierta información, ésta dejará de residir en el buffer, dejándose espacio en el mismo para nuevos datos que puedan llegar en el futuro.

El comando *Serial Port Read.vi*, entrega en forma de cadena de caracteres (string) los datos leídos desde el buffer de recepción. En este punto de debe proceder a la conversión de formato para que la información sea interpretada correctamente por el PC.

---

“Byte at serial port.vi: indica la cantidad de información que se encuentra almacenada en el buffer de entrada del puerto serie en espera de ser leída.”

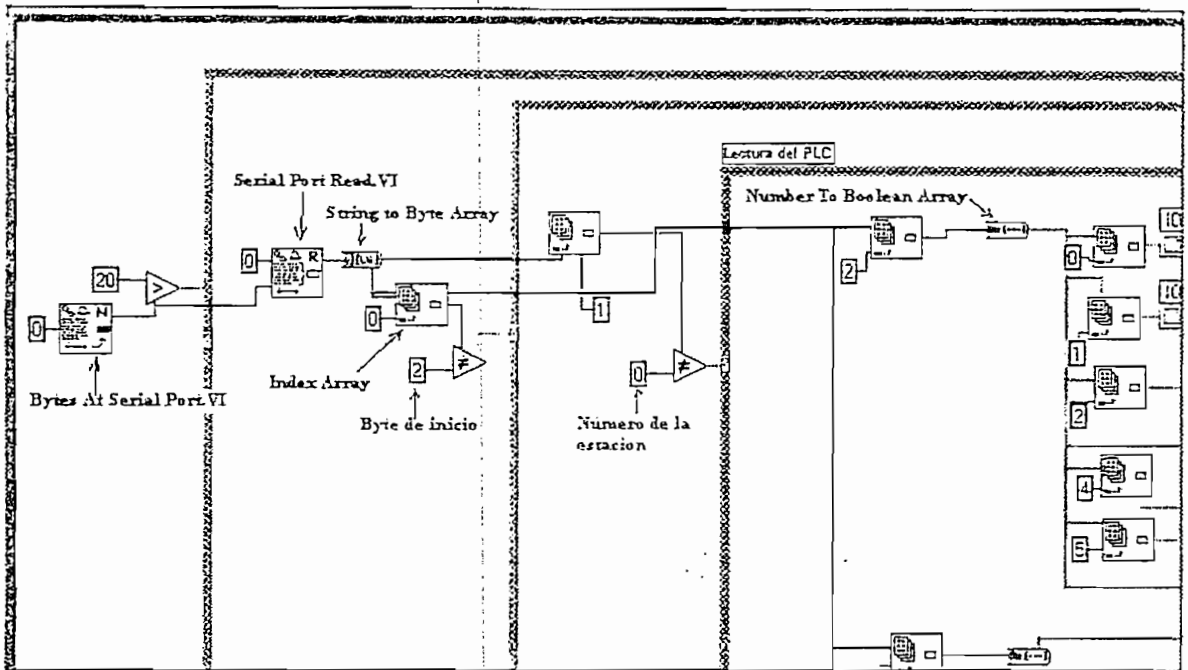


Figura 4.14 Leer del PLC.

Los caracteres recibidos son convertidos a Bytes por medio del comando *String to Byte array*, que transforma la cadena de caracteres en un arreglo de Bytes. Una vez obtenida la información en forma de arreglo de Bytes pueden ser consultados por separado utilizando un operador de nombre *Index Array*. El Byte consultado puede corresponder en algunas ocasiones a información binaria, por lo que se deberá accederlos bit a bit utilizando el comando conversor *Number to Boolean Array*.

Los Bytes que el PLC envía incluyen: Byte de inicio (el número 2), el número de la estación (PC) que recibe los datos (en este caso el número 0). Si estos datos son correctos se decodifican los datos de información que son enviados por el PLC los cuales corresponden a las entradas analógicas del PLC, tiempo de operación de las servoválvulas, así como el día de la semana, la hora y minutos actuales que corresponden a los datos que tiene el S7-214 actualizados y procesados en el Labview (Ver Figura 4.15). Si no son correctos los bytes de inicio y número de estación, el programa espera hasta recibir datos nuevos que sean verdaderos.

# de bytes a transmitirse	byte de inicio	# de PC	Datos de información	Fin de transmisión
20	2	0	N datos	FF

Figura 4.15 Sintaxis de la Recepción de datos

### Las SubVIs

En el diagrama de jerarquías de la Figura 4.16, típica del Labview, se muestra la relación entre la VI principal y las subVIs desarrolladas.

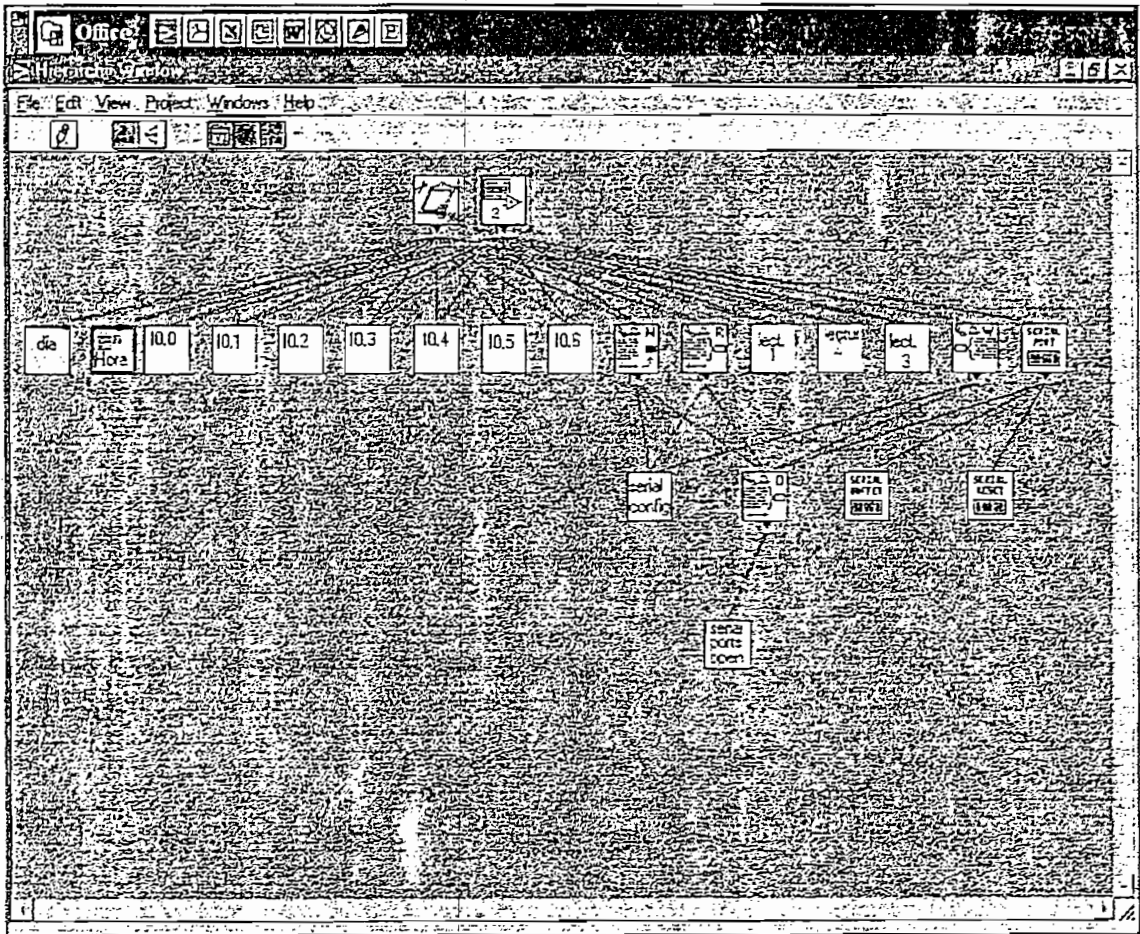


Figura 4.16 Diagrama de jerarquías del VI principal

Para las siguientes subrutinas ver la Figura 4.17.



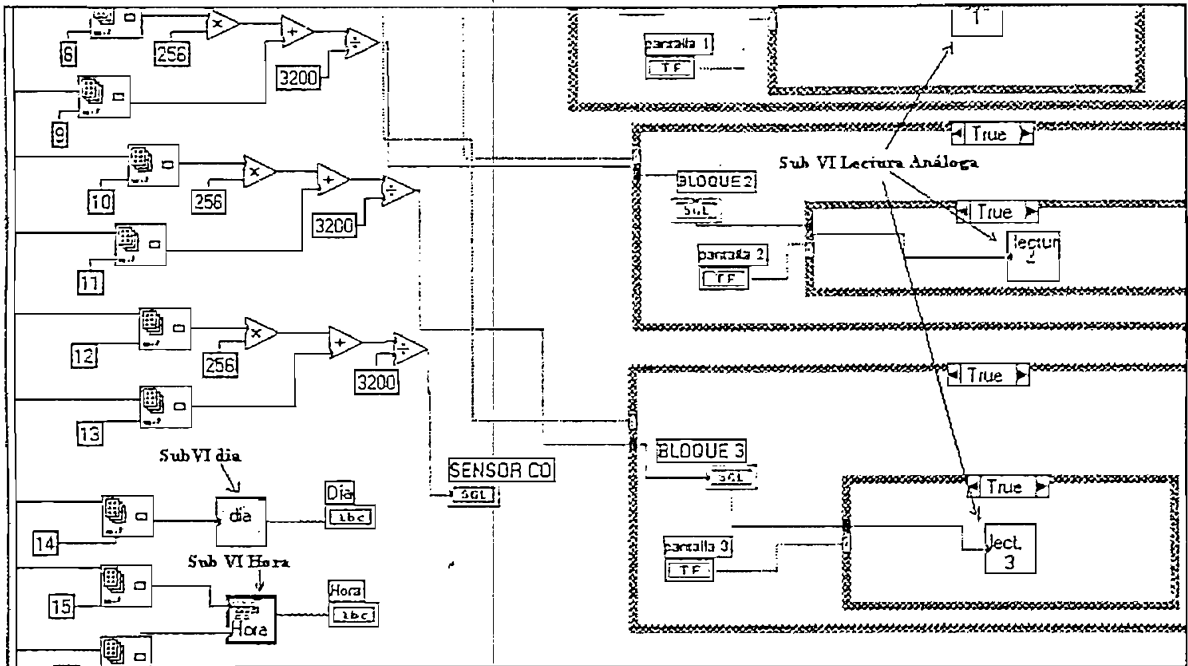


Figura 4.17 Subrutinas

*Sub VI día*

El PLC envía un número del "1" al "7" al PC, para fijar el día actual que se encuentra disponible en su reloj de tiempo real. Así, la SubVI día equipara el número "1" a Domingo, el "2" al Lunes y así sucesivamente hasta el número "7" que indica el día sábado. De esta forma se tiene presente en la pantalla del PC el día actual que se encuentra en el reloj de tiempo real del PLC.

*Sub VI HH:mm*

Convierte los datos enviados por el PLC de hora y minuto a un formato que le permite mostrar la hora y minutos en la pantalla del PC. Así. Este comando permite conocer exactamente la hora y minuto que almacena el reloj de tiempo real del PLC.

*Sub VI Lectura analógica*

Se encarga de leer la concentración de CO<sub>2</sub> (valores analógicos) del invernadero #1, invernadero #2 e invernadero #3. Como se muestra en la Figura 4-17, los valores analógicos vienen empaquetados en grupos de dos Bytes. Al Byte más

**CAPITULO 5**  
**PRUEBAS Y RESULTADOS**

## CAPITULO 5

### PRUEBAS Y RESULTADOS

Para comprobar el funcionamiento correcto del presente trabajo se realizaron cuatro pruebas específicas:

- La primera tuvo como objetivo comprobar la ejecución correcta del programa desarrollado para el PLC, utilizando el simulador del programa STEP 7-Micro/WIN.
- La segunda se la diseño para comprobar la comunicación entre el PLC y el Labview,
- La tercera prueba fue concebida para comprobar el trabajo correcto de todo el conjunto pero antes de ir al campo. Para esto se comprobó el funcionamiento del software desarrollado sobre un prototipo de relés. La idea principal era obtener resultados satisfactorios antes de probar en el campo, donde, un error puede resultar en pérdidas económicas grandes.
- La prueba cuarta y final se hizo en el campo para comprobar el funcionamiento apropiado del sistema desarrollado.

#### 5.1 PRUEBAS EN EL PROGRAMA STEP 7- Micro/WIN

Por ser la base de todo el proceso, esta primera etapa de pruebas es la que demandó más detalle en su realización. Cada una de las pruebas que se describen a continuación se las realizó en el orden mencionado para sistematizar la obtención de los resultados.

Debido a que el proceso de funcionamiento del sistema de control tiene muchas acciones repetitivas, el programa desarrollado para el PLC consta de una rutina principal y sus respectivas subrutinas. Con esto se posibilitó que se pueda probar, corregir errores y verificar el funcionamiento de cada una de ellas por separado, para posteriormente hacer las pruebas de todo en conjunto.

Como se menciona en capítulos anteriores, la programación para el PLC se lo realizó en lenguaje Ladder (KOP) con la plataforma de desarrollo Step 7-Micro/WIN. Para realizar pruebas en el Step 7 se debe especificar un número

limitado de ciclos durante los que se ejecutará el programa (de 1 a 65.535 ciclos) para ser observados sobre la PC y el PLC. En primera instancia, hasta tener seguridad de sí el programa está trabajando correctamente, se lo ejecuta paso a paso, y durante un solo ciclo. En este modo de trabajo (en el menú escoger **Test>Estado del programa**), el Step 7 muestra el paso en ejecución subrayado y en color azul. Con esto se logra seguir la secuencia del programa y detectar alguna falla, si existiese.

Una vez ejecutado paso a paso el programa, y comprobado su buen funcionamiento, se elige ejecutar varios ciclos (desde el menú **Test**), para observar de una manera más concreta el comportamiento del programa. Al elegir la ejecución de varios ciclos, aparece un cuadro de diálogo donde se puede especificar el número de ciclos deseados, ó simplemente se deja en la posición varios ciclos.

Para ejecutar el test de un ciclo y varios ciclos desde el computador, el interruptor principal del PLC siempre debe estar en la posición TERM. Una vez ingresado el número de ciclos, desde el computador se controla al PLC colocándolo en modo RUN.

Entre las subrutinas que más hincapié se puso en su comprobación fueron:

- Subrutina 0, que inicializa el modo Freeport. Para esta subrutina el objetivo primordial de la prueba fue determinar el tiempo que se necesita para establecer el chequeo de la línea de comunicación entre el PLC y el PC. Para esto se varió los valores de tiempo de envío de 5 a 10 ms. (este tiempo fue escogido de entre el rango de 5 a 255 ms recomendados por el fabricante del PLC). Después de varias pruebas con diferentes valores, se estableció experimentalmente que el tiempo en 6 ms es el que mejor garantiza la comunicación de los datos entre el PLC y la PC.
- Subrutina 1, que realiza la lectura desde la entrada analógica AIW0 que contiene el valor de la concentración de CO<sub>2</sub> en el invernadero 1. Aquí, se debía asegurar si el número de muestras y las operaciones realizadas para obtener el promedio eran las correctas. Primeramente se ejecutó la subrutina

para que realice la lectura de 128 muestras, obtenga la suma y finalmente saque el promedio. Cabe indicar que en pruebas iniciales no era claro si el número de muestras tomadas eran las correctas y de allí el promedio obtenido era el verdadero. Para corregir el problema se tuvo que recurrir a la operación "Registrar valor en tabla" la misma que permite registrar cada uno de los datos de esta operación en la tabla de estado disponible en el menú del programador Step-7. De esta manera, claramente se pudo observar que el número de muestras no era el correcto porque no se contaba con una instrucción que detenga la operación luego de tomadas las 128 muestras. Como solución se utilizó la operación "Comparar entero palabra" para que se compare el número de muestras con el valor deseado (128). Así, se pudo lograr que el contacto del comparador se active si la comparación era verdadera, obtenga solo la lectura de las 128 muestras y calcule su promedio. Adicionalmente, para corroborar si las operaciones matemáticas realizadas eran correctas, se obtuvo en un instante determinado los valores al igual que su promedio con la ayuda del operador "Registrar valor en tabla". Así se pudo copiar los valores de las muestras, realizar su promedio con una calculadora de mano y realizar la comparación respectiva. La comparación resultó correcta y sirvió para que, en las siguientes subrutinas del programa, se tenga confianza en las operaciones utilizadas.

- De la misma manera se efectuó la comprobación de las subrutinas 2, 3 y 4 que también leen desde el módulo analógico.
- En las subrutinas 7, 8 y 9 que determinan el funcionamiento del PLC en modo automático, se diseñó una prueba con el objetivo de determinar si el tiempo de activación de las servoválvulas, al accionarse con un temporizador con retardo a la conexión o con un temporizador con retardo a la desconexión, era correcto. En un principio se utilizó un solo temporizador para el programa y comenzó a dar problemas al accionar las servoválvulas: unas veces se prendía y otras no. Luego se utilizó varios temporizadores pero se tenía el mismo problema. Finalmente, al utilizar temporizadores con una misma resolución (se utilizó el T37 y T38 con una resolución de 100ms) se superaron estos problemas.

De esta manera, en las subrutinas 7, 8 y 9 se utiliza el temporizador T38, ya que actúan una a la vez durante un ciclo, y el temporizador T37 se utiliza para actualizar los datos enviados desde el PC en la subrutina 5.

- Subrutina 10, movimiento manual de las servoválvulas. El Objetivo primordial era comprobar si los enclavamientos de los contactos de las entradas dispuestas para el movimiento manual eran los correctos y suficientes, como lo recomienda el diagramado de Control. Así se dispuso contactos abiertos y cerrados para suprimir un movimiento u otro, y no realizar estas operaciones con una configuración de hardware externo con relés. El resultado obtenido fue positivo, y se demostró una vez más el uso de los PLCs en el Control Industrial.

Ubicados y corregidos los errores en cada una de las subrutinas, se procedió a probar todas las subrutinas en conjunto, ejecutando todo el programa un ciclo a la vez, para determinar posibles errores. Para esto es primordial y básico observar la rutina principal y su ejecución. Como el programa ocupa más espacio de lo que se puede visualizar en la pantalla del PC, cada llamada a las subrutinas tuvo que ser vista con la utilización de la barra de desplazamiento, ubicada debajo de cada pantalla de las subrutinas, para observar las diferentes secciones que se activan paso a paso.

Hay que tomar en cuenta que las funciones del editor para realizar cambios, se encuentran desactivadas cuando el estado del programa está en posición ON. Si se requiere realizar cambios en la programación, se debe cambiar el estado del programa a TERM y proseguir con la edición en donde se quiera hacerlo. Cada cambio efectuado implica volver a cargar el nuevo programa en el PLC.

Dentro de la ejecución de un ciclo y varios ciclos, el estado de las entradas (por ejemplo: entradas desde la I0.0 a la I1.5 para accionamiento manual de las servoválvulas) se puede simular. Una vez que se simule el estado de las entradas se procederá a correr el test del programa (posición ON). Para modificar el estado de una entrada se debe escoger (haciendo clic derecho) una de ellas, seguidamente del menú emergente seleccionar "forzar". Si un parámetro estaba

forzado, se visualizaba un icono junto a él como se muestra en la Figura 5.1. De esta forma se puede observar el funcionamiento de una etapa en especial y comprobar si un contacto está produciendo la operación esperada.

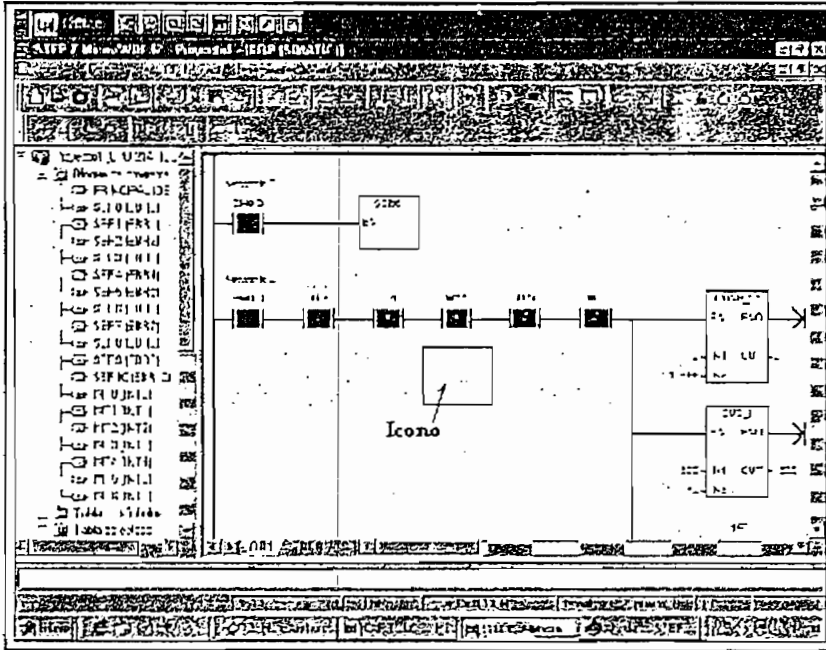


Figura 5.1 Visualización del Estado del Programa

A manera de referencia, cabe indicar que en las pruebas los saltos de subrutina a subrutina, con la opción de un ciclo o varios ciclos, no se efectúan automáticamente, sino que uno debe cambiar a la pantalla apropiada manualmente. Esto da como resultado dificultad para seguir los cambios ocurridos en un programa, lo cual puede ocasionar errores de apreciación. La solución para esto consiste en ejecutar solo un ciclo, detenidamente, y/lo ejecutar manualmente una línea del programa paso a paso.

Solo comprobando cada etapa del programa desarrollado para el PLC, se pudo determinar su correcto funcionamiento.

Para probar la recepción de datos en el Labview, se optó por enviar un número diferente de bytes a la vez. Para esto, puesto que las subrutinas desde la 0 hasta la 12, envían diferente número de bytes, se procedió a ejecutarlas, consiguiéndose probar el envío desde uno hasta 20 Bytes de transmisión. Lo que en realidad se hizo fue variar el último lazo del bucle "Lectura desde el PLC" en el programa Labview; siempre que se disponía de un nuevo byte a ser recibido, se aumentaba el número de comandos Index Array para que cada byte recibido pueda ser consultado por separado.

Seguidamente se probó la transmisión de datos desde el Labview al PLC. Para esto, también se varió el número de Bytes a transmitirse al igual que en la prueba anterior. Al principio se envió un solo dato, para ir en orden, el que correspondía a la primera entrada (I0.0), suprimiendo todas las conexiones que van al resto de entradas del PLC, para probar una buena transmisión. Al recibir correctamente el primer dato en el PLC, se procedió a aumentar en el Labview una conexión a otra entrada en el PLC hasta completar todas las entradas. Este tipo de prueba demandó mucho tiempo pero al final se obtuvo los resultados esperados.

Antes de llegarse al programa final completo en el Labview, cada una de las partes del programa (subrutinas, algoritmo de transmisión y recepción de datos), se implementaron con indicadores que permitían la lectura de cada una de las partes del programa a manera de palabras, para poder detectar mejor y más rápido cualquier falla, tal como se muestra en la Figura 5.2 del algoritmo de transmisión de datos desde el Labview al PLC.



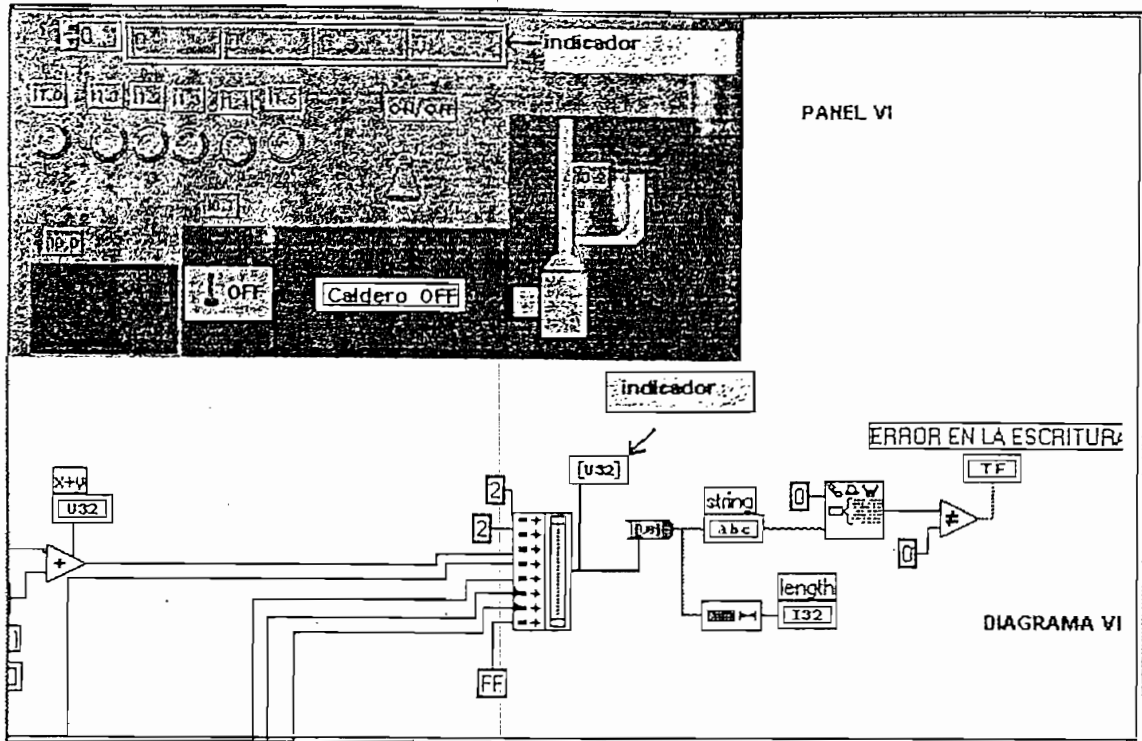


Figura 5.2 Indicadores para detección de falla en el algoritmo de transmisión de datos al PLC.

Con estos indicadores, se solucionó la detección de fallas en la comunicación, paso a paso, de una manera más rápida y efectiva. Estos indicadores permiten ver el número de Bytes a transmitirse y recibirse, por lo que fue más fácil detectar alguna falla en el programa, si el indicador no cambiaba de estado.

Vale aclarar aquí que el programa en Labview permite reiniciar la comunicación sin la necesidad de volver a cargar el programa o inicializar el computador nuevamente, tan solo se debe repetir los tres pasos enumerados anteriormente para lograr nuevamente la comunicación.

### 5.3 PRUEBAS EN EL SIMULADOR DE RELÉS Y EN EL CAMPO.

Debido a políticas de seguridad en la plantación, antes de conectar en el campo la Interfaz desarrollada, se tuvo que hacer dos pruebas sobre unos relés para simular lo que los equipos debían hacer en el campo.

### 5.3.1 PRUEBAS EN EL SIMULADOR DE RELES

Para la prueba, a los relés se los conectó para que trabajen con el mismo nivel de voltaje con que lo hacen en el campo; esto es, voltajes de  $220 V_{AC}$  y  $24 V_{DC/AC}$ . La intención en esta prueba era verificar posibles fallas de cortocircuito o mal funcionamiento del sistema a conectarse al PLC y para probar que la fuente de 24 V que se diseñó estaba correctamente dimensionada. Previamente se fijaron con fuentes los voltajes en cada una de las entradas y salidas. También se simuló la señal analógica proveniente del medidor de  $CO_2$  con una fuente de computadora, con una baja corriente, variando su valor de voltaje entre 0 y  $5 V_{DC}$  con un potenciómetro. Por supuesto, se asumió que similares resultados se obtendrían con el medidor de  $CO_2$  propiamente dicho.

Así, se simuló el encendido del caldero en sus diferentes etapas como es: encendido del quemador a  $220 V_{AC}$ , luego, el prendido de la llama del caldero a  $220 V_{AC}$ , y, posteriormente, el funcionamiento del dosificador de  $CO_2$  a  $220 V_{AC}$ . Además, se probó el movimiento de las servoválvulas desconectándolas del sistema implementado y conectándolas a los relés de prueba, para probar la acción de cierre y apertura de las mismas. Los resultados observados mostraron que no existían fallas de cortocircuito, mal funcionamiento del sistema a conectarse al PLC y que la fuente de 24 V estaba correctamente dimensionada.

### 5.3.2 PRUEBAS EN EL CAMPO.

En las pruebas de campo se empezó por comprobar si la interfaz en la PC era capaz de leer la concentración del  $CO_2$ . Para esto, se varió la posición de las servoválvulas manualmente desde el PLC y/o desde los interruptores dispuestos en campo. Con esto se observó que los cambios de concentración se reflejaban al mismo tiempo sobre la PC.

Luego se procedió a comprobar si el algoritmo de control automático trabajaba correctamente. Para esto, se fijo un valor de consigna en la PC y se dejó que la misma actúe sobre las servo válvulas hasta que los valores reales de  $CO_2$  igualen al de consigna mediante el trabajo del PLC. Además, sobre el computador se

observó que se realizaba la conversión de la concentración de CO<sub>2</sub> desde porcentaje a partes por millón.

Una vez instalado todo el equipo necesario se puso en marcha el sistema calderosificador y se observó el cambio de magnitud en cada uno de los indicadores dibujados en la Interfaz, y en los tableros de control ubicados en el campo. En particular, se puso atención al indicador de concentración de CO<sub>2</sub> en la interfaz (Figura 5.3) y el presente en campo. En la interfaz, para ayudar al operador a visualizar mejor la concentración, se añadieron indicadores digitales y uno en el que se puede ver como varía la concentración en el tiempo.

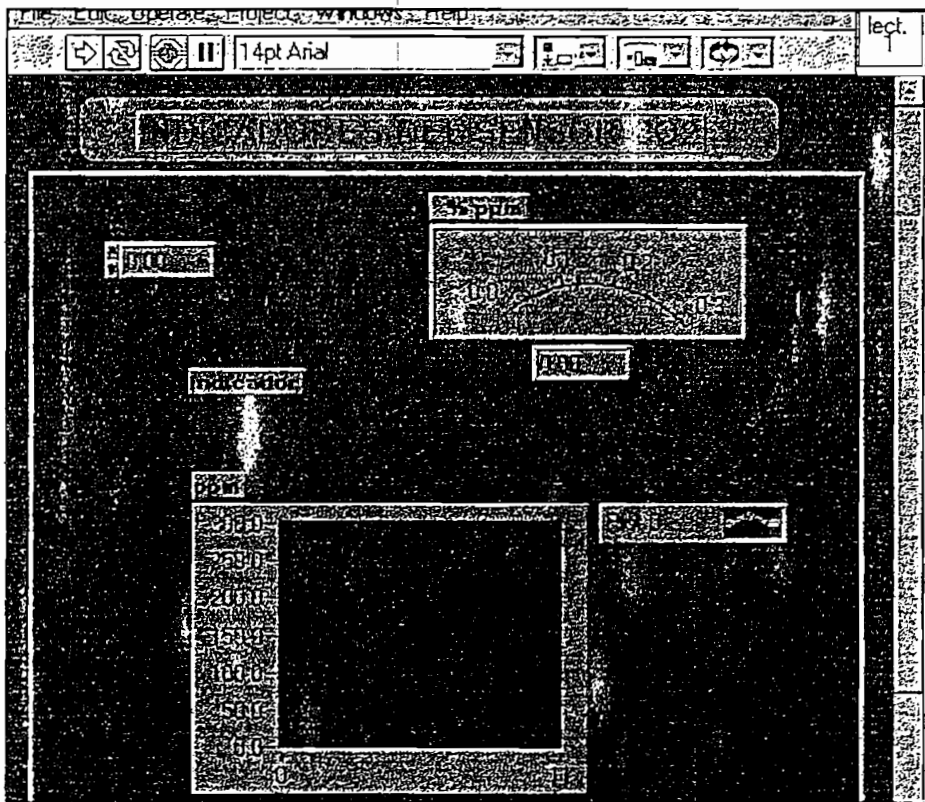


Figura 5.3 Indicadores de Concentración de CO<sub>2</sub> sobre el invernadero #1.

De acuerdo a las pruebas realizadas descritas se pudo concluir que la comunicación y transferencia de datos entre el PC y el PLC era correcta; esto es, que se registraban los valores de la concentración en el computador en tiempo

real y que el PLC controlaba en forma automática el movimiento de las servoválvulas en los invernaderos.

Para la cuantificación de los resultados se tomaron mediciones durante 19 días, en los que se tomaron 24 valores de concentración de CO<sub>2</sub>, durante un período aproximado de 8 horas diarias. Estos valores se contrastaron con los medidos con el medidor de CO<sub>2</sub> de campo SIEMENS, modelo ZFP-DZ, un aparato industrial de probada precisión ( $\pm 1\%$ ) y calibrado correctamente. En la Tabla 5.1 se muestran los valores recopilados para cuatro días tanto por el medidor de concentración industrial como el que se mostraba en la interfaz desarrollada. Los datos correspondientes a todos los 19 se los puede encontrar en los anexos.

Tabla 5.1 Datos del medidor de CO<sub>2</sub>

		Valor	Valor	Error			Valor	Valor	Error
día	# muestra	SIEMENS	Interfaz	%	día	# muestra	SIEMENS	Interfaz	%
Ene-27	1	395	397	0,50377834	Ene-28	1	397	400	0,75
	2	401	404	0,74257426		2	399	401	0,49875312
	3	400	403	0,74441687		3	395	398	0,75376884
	4	418	422	0,9478673		4	390	395	1,26582278
	5	419	424	1,17924528		5	392	396	1,01010101
	6	471	475	0,84210526		6	402	406	0,98522167
	7	471	475	0,84210526		7	449	450	0,22222222
	8	414	418	0,9569378		8	410	409	0,24449878
	9	399	403	0,99255583		9	409	411	0,486618
	10	393	395	0,50632911		10	401	403	0,49627792
	11	407	410	0,73170732		11	398	400	0,5
	12	402	405	0,74074074		12	398	398	0
	13	369	370	0,27027027		13	405	407	0,49140049
	14	372	370	0,54054054		14	362	363	0,27548209
	15	387	391	1,0230179		15	369	371	0,53908356
	16	385	386	0,25906736		16	40	370	0,54054054
	17	405	407	0,49140049		17	369	372	0,80645161
	18	465	466	0,21459227		18	375	376	0,26595745
	19	400	403	0,74441687		19	397	399	0,50125313
	20	402	405	0,74074074		20	403	405	0,49382716
	21	400	403	0,74441687		21	396	399	0,7518797
	22	401	404	0,74257426		22	396	399	0,7518797
	23	397	398	0,25125628		23	420	419	0,23866348
	24	397	398	0,25125628		24	415	418	0,71770335
		Error Promedio		0,66682973			Error Promedio		0,56614194

		Valor	Valor	Error			Valor	Valor	Error		
día	# muestra	SIEMENS	Interfaz	%	día	# muestra	SIEMENS	Interfaz	%		
Ene-29	1	50	405	407	0,49140049	Ene-30	1	74	381	384	0,78125
	2	51	412	415	0,72289157		2	75	384	387	0,7751938
	3	52	395	398	0,75376884		3	76	384	382	0,52356021
	4	53	422	423	0,23640662		4	77	388	386	0,51813472
	5	54	403	405	0,49382716		5	78	387	388	0,25773196
	6	55	470	471	0,21231423		6	79	497	500	0,6
	7	56	435	436	0,2293578		7	80	419	418	0,23923445
	8	57	416	418	0,4784689		8	81	396	402	1,49253731
	9	58	457	459	0,43572985		9	82	397	391	1,53452685
	10	59	388	391	0,76726343		10	83	390	391	0,25575448
	11	60	377	379	0,52770449		11	84	378	374	1,06951872
	12	61	377	379	0,52770449		12	85	370	373	0,80428954
	13	62	352	353	0,28328612		13	86	369	371	0,53908356
	14	63	371	373	0,53619303		14	87	371	372	0,2688172
	15	64	371	373	0,53619303		15	88	355	349	1,71919771
	16	65	367	367	0		16	89	376	379	0,79155673
	17	66	376	378	0,52910053		17	90	375	375	0
	18	67	392	390	0,51282051		18	91	394	395	0,25316456
	19	68	384	385	0,25974026		19	92	382	384	0,52083333
	20	69	388	389	0,25706941		20	93	385	387	0,51679587
	21	70	393	395	0,50632911		21	94	386	388	0,51546392
	22	71	393	395	0,50632911		22	95	384	395	2,78481013
	23	72	387	390	0,76923077		23	96	382	385	0,77922078
	24	73	388	390	0,51282051		24	97	384	385	0,25974026
		Error Promedio		0,46191459			Error Promedio		0,741684		

Para todos los días en los que se realizó las pruebas, el error promedio obtenido es aproximadamente del 0.6 %. El error del instrumento industrial de la SIEMENS es de 1%. Esto nos permite afirmar que el sistema desarrollado es más preciso al comercial. Aquí se demuestra, una vez más, que las operaciones realizadas matemáticamente en el programa para procesar los valores entregados por el módulo analógico y reflejada sobre la Interfaz del computador son confiables.

A continuación se muestran las Figuras 5.4 hasta la 5.7 en los que se puede observar la relación entre los valores medidos con el instrumento industrial y el

aquí desarrollado. Estas figuras corresponden a los mismos cuatro días de las tablas anteriores.

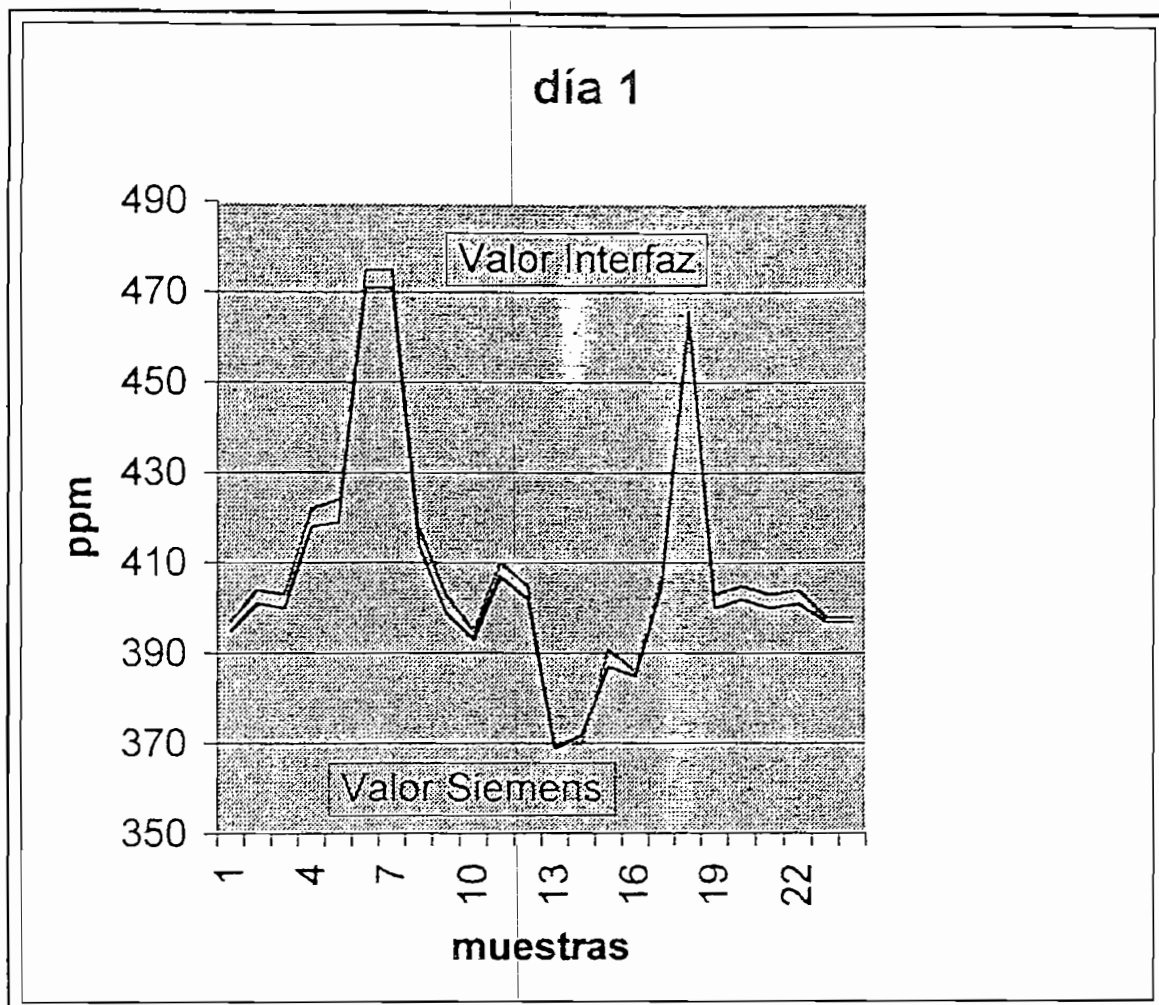


Figura 5.4 Concentración de CO<sub>2</sub> en PPM vs. # Muestra para el día 27/01/2001.

La curva de color azul representa a los valores medidos por el módulo analógico y reflejados sobre la interfaz de la computadora, y la curva de color rojo es la que representa a los valores tomados con el medidor de CO<sub>2</sub> de la marca Siemens.

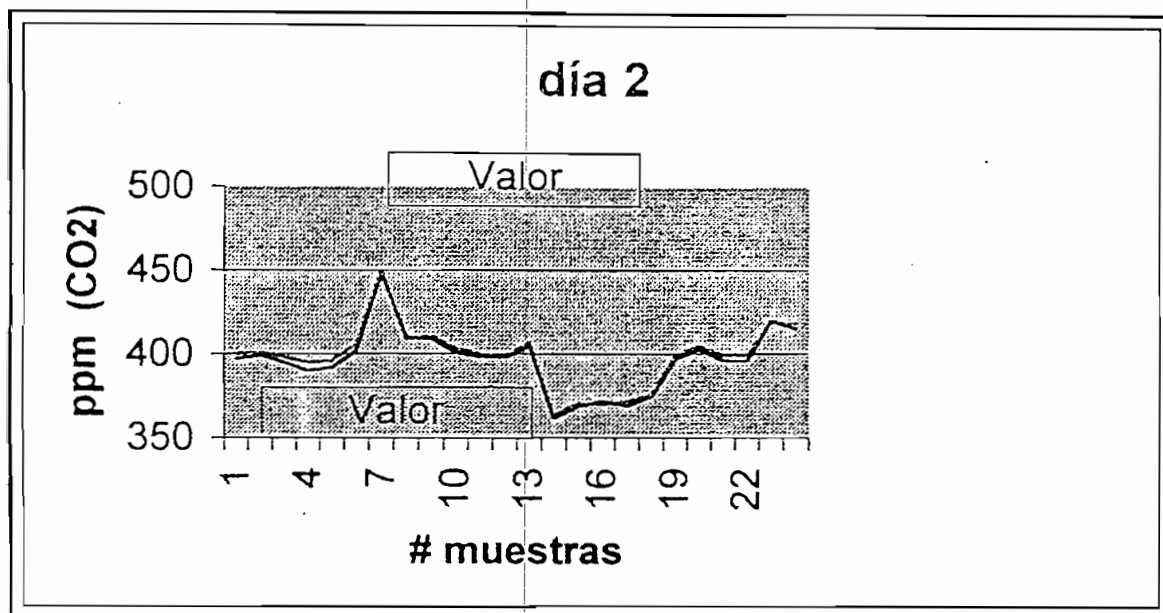


Figura 5.5 Concentración de CO<sub>2</sub> en PPM vs. # Muestra para el día 28/01/2001.

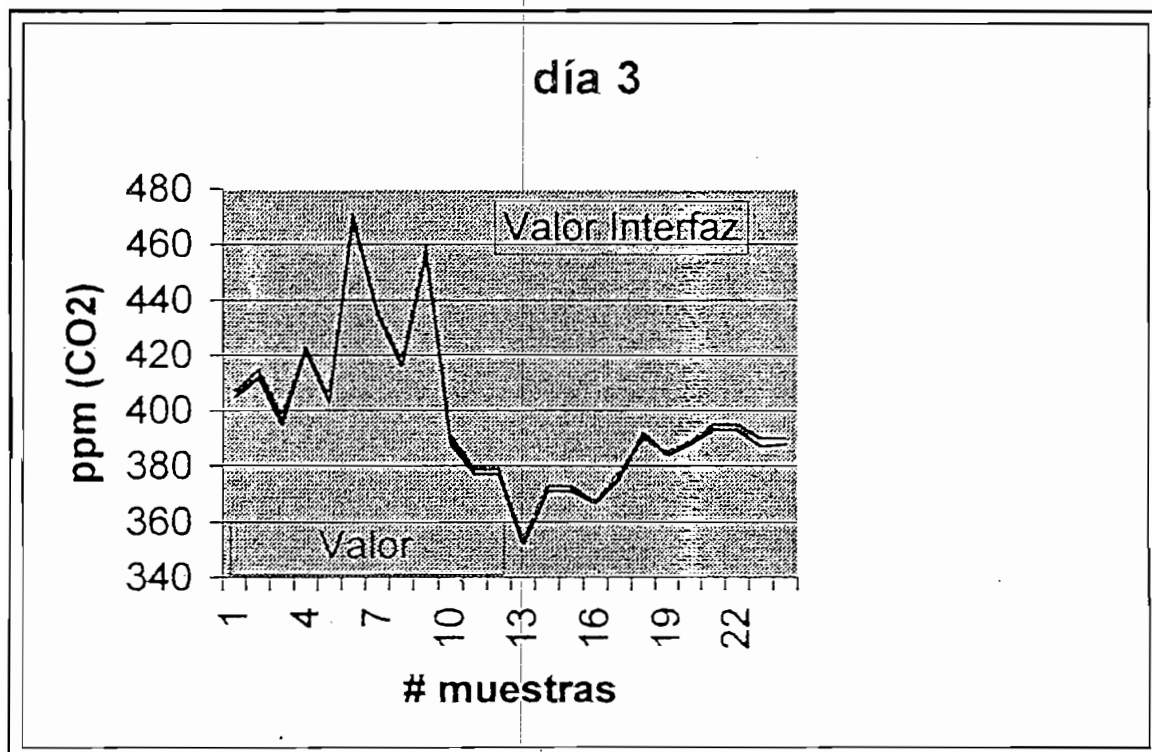


Figura 5.6 Concentración de CO<sub>2</sub> en PPM vs. # Muestra para el día 29/01/2001.

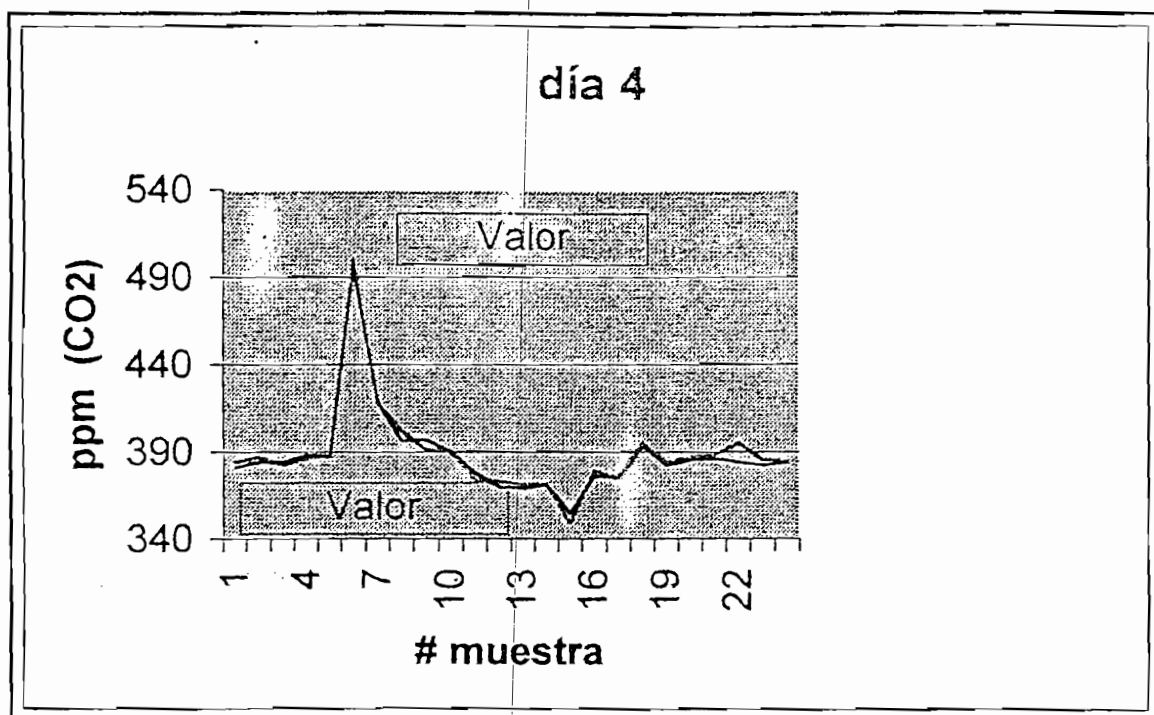


Figura 5.7 Concentración de CO<sub>2</sub> en PPM vs. # Muestra para el día 29/01/2001.

Es claro que los valores obtenidos en la interfaz, para los cuatro días, es similar al que se tiene con el aparato de referencia en el campo, con lo que se demuestra que el sistema desarrollado es confiable y puede emplearse en la plantación.

Estos resultados fueron comprobados por el personal responsable de la empresa, los que aceptaron que el sistema desarrollado era una alternativa válida para controlar los procesos en la plantación.



## **CAPITULO 6**

### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

## CAPITULO 6

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Una vez concluido el proyecto y de haber realizado las pruebas pertinentes, en este capítulo se hace un análisis global de los resultados obtenidos y así extraer conclusiones que indiquen sin ambigüedades si se pudo cumplir con los objetivos y alcances definidos al comienzo de este trabajo. Finalmente, se indican ciertas recomendaciones que tiene como finalidad sugerir posibles mejoras a este tipo de tareas.

#### 6.1 CONCLUSIONES

El proyecto elaborado es el resultado de buscar una alternativa de control que brinde una mayor facilidad en la operación y mantenimiento del equipo ya instalado en un invernadero permitiendo que el operador pueda controlar mejor y más fácilmente el proceso, reduciendo los riesgos y la posibilidad de que se produzcan errores. La interfaz desarrollada permite afirmar que este objetivo fue cumplido, gracias a que para su desarrollo se siguieron conceptos que dan prioridad a que las mismas sean los más “amigables” posibles. El término “amigable” quiere decir que la interfaz debe ser fácil comprensión y operación por parte del operador. El programa fue empleado por los operadores y agrónomos de la plantación quienes manifestaron sentirse “cómodos” empleando la interfaz. Consecuentemente, se puede afirmar que este objetivo particular también fue cumplido en este trabajo.

Este sistema de control fue diseñado de tal manera que permita introducir cambios en su programación o añadir nuevos algoritmos. De esta manera se aseguró que el mantenimiento y ampliaciones al software o al hardware pueda hacerse de una manera sencilla y rápida.

Hay que destacar que parte del éxito del software desarrollado se apoya en la velocidad de operación del PLC. Los valores analógicos provenientes del medidor de CO<sub>2</sub>, debían ser procesados rápidamente, pues se optó por

promediar 128 muestras para garantizar resultados más confiables. Esto hubiese retardado el sistema, de nos ser por la velocidad de respuesta del mismo.

Para este proyecto se tuvo como opciones de plataforma de desarrollo del software de apoyo al LabView y al INTOUCH. La opción más apropiada para aplicaciones de control en realidad es el INTOUCH, pero, surgió un inconveniente en la comunicación entre el Intouch y el PLC S7-214 que utiliza un driver específico denominado "Kepserver". Este driver no dio las facilidades para la transmisión de datos y no se pudo lograr una comunicación rápida<sup>\*\*</sup> tal que se pueda tener un sistema de control en tiempo real. Por esta razón se decidió utilizar el Labview, el mismo que emplea tecnología Active X para controlar al pórtico serial, proporcionando una velocidad de comunicación mucho mayor a la que se pueda lograr con enlaces DDE<sup>\*\*\*</sup> que es lo que emplea el INTOUCH.

El Labview, sin embargo, presenta una desventaja sustancial frente a otras plataformas comerciales ya que solo permite insertar imágenes tipo mapa de bits (.BMP) y estas imágenes no pueden ser animadas, algo muy útil e importante en cierto tipo de interfaces. A pesar de lo expuesto, por las razones ya mencionadas se optó por el Labview y se puede decir que esta aplicación cumplió satisfactoriamente como plataforma de desarrollo para la interfaz del presente trabajo.

Una de las desventajas de utilizar las plataformas tipo Labview o Intouch es el costo de su respectiva licencia (1500 y 2.800, respectivamente) pues encarece el desarrollo de aplicaciones basadas en estas plataformas que, en contraposición, ahorran tiempo de programación por las herramientas que ofrecen a los programadores.

---

\* Kepserver = es un programa utilitario que utiliza un enlace DDE para actuar como una interface para adquisición de datos entre un dispositivo y diferentes programas computacionales.

\*\* La comunicación DDE es lenta, presentándose problemas en la utilización de enlaces con muchas variables.

\*\*\* DDE = Data Dynamic Exchange.

Antes de llegar a la alternativa de solución propuesta aquí, originalmente se pensó en diseñar y construir un circuito propio; es más, se pensó en llegar a una solución parecida a la AVSIM 51 que es de uso muy común en los laboratorios del departamento. Finalmente, un análisis de costos, confiabilidad y tiempo de trabajo hicieron que la propuesta se encamine a la utilización del PLC S7-214 presente en este trabajo. Los resultados obtenidos, permiten concluir que la decisión que se tomó fue correcta.

En el desarrollo del proyecto se utilizó el concepto de que el control de los procesos y la adquisición de datos deben ser realizados por dispositivos que brinden mayor seguridad, sean adecuados para trabajar en ambientes industriales, soportando las condiciones de sobrevoltaje, sobre-corrientes o pérdidas de energía, que es muy común en los mismos. Es por esto que un PLC es el que controla este proceso y se deja a la computadora, tan solo para tareas de administración o para cuando se desean cambiar parámetros del proceso o como una herramienta "amigable" para visualizar el proceso. Esto permite afirmar que este trabajo se ajusta a lo que las normas industriales aconsejan.

Para la transmisión de los datos desde el PLC al computador personal no se necesitan tarjetas adicionales, sino tan solo un cable especial PC/PPI que enlaza el equipo con el pórtico serial de la computadora. Esto representó un ahorro que contribuyó a que esta propuesta resulte más económica.

Los valores de concentración de CO<sub>2</sub> obtenidos en la Interfaz desarrollada, muestran errores en el orden de 0.6% en comparación con las lecturas registradas por el instrumento Siemens instalado en el campo y que fue empleado como patrón de referencia. Si se considera que el Siemens tiene una precisión en el orden de 1%, se puede concluir entonces que el error introducido por el sistema aquí desarrollado es aceptable, con lo que se puede concluir finalmente que se ha cumplido con el objetivo de esta tesis: "partiendo de un sistema de control de CO<sub>2</sub> importado, se diseñará una nueva alternativa de control de dicho sistema.

## 6.2 RECOMENDACIONES

El estudio y experiencia adquiridos durante el desarrollo de este proyecto permite al autor hacer las recomendaciones siguientes:

La utilización de un sistema de automatización basado en controladores lógicos programables, es una solución que siempre deberá emplearse. Los PLCs tienen una gran versatilidad y hacen más sencilla su comunicación con sistemas que podrían ser muy complejos basados en otros dispositivos de control. Además, facilita la tarea de incorporación de otros elementos a un sistema ya existente.

Si se requiere de un sistema similar para diseñar e implementar un control distribuido de todos los sistemas de la plantación, se sugiere utilizar transmisores inteligentes que poseen una mayor repetitividad y precisión que sus equivalentes analógicos. Evitan una gran demanda de cableado pues con la utilización de dos hilos permiten manejar una gran cantidad de información que de otra forma sería más complicado y caro.

Cuando se maneja un número muy grande de variables o de condiciones operativas dentro de un proceso, el desarrollo de una aplicación, incluso contando con la ventaja de los paquetes de instrumentación y control virtual, podría requerir de mucho tiempo de desarrollo hasta llegar a la solución final. Este tiempo de programación puede representar un incremento de costos de desarrollo que, en algunos casos, podría ser comparable a una solución comercialmente disponible. Se recomienda por lo mismo, evaluar cuidadosamente el tipo de aplicación que puede beneficiarse del Labview.

La comunicación PC-PLC por medio del protocolo Freeport fue ideal para la mayoría de las operaciones requeridas en este proyecto. Por este motivo, se recomienda explorar la posibilidad de desarrollar un protocolo ajustado a requerimientos particulares (custom made) antes de recurrir al que ofrece el fabricante del PLC, que limita la libertad del programador o es relativamente más caro.

Para la instalación de sistemas basados en PLCs se recomienda una verificación previa antes de ponerla en marcha en el campo. Con esto se evitará pérdidas económicas o de tiempo si, al instalar un equipo en el campo sin haber sido previamente probado, aparecen fallas que pueden ir desde pequeñas hasta de gran envergadura.

Pese a que durante el desarrollo del proyecto se habló muy poco acerca de una de las razones importantes por la cual surgieron los sistemas tipo SCADA como son las necesidades de los operadores, se recomienda que las pantallas a diseñarse sean sobre todo familiares al operador. De esta forma se reduce el riesgo a que sea rechazada y aparezca una predisposición negativa hacia los sistemas de supervisión basados en computadoras. Esto demandará mayor tiempo de diseño, pero puede garantizar una mejor aceptación.

Se recomienda también, organizar sesiones de capacitación tanto para el grupo de operación como para los técnicos encargados de la supervisión y mantenimiento del sistema. En procesos que son muy dinámicos esto es de vital importancia, por cuanto en este tipo de procesos los parámetros y las configuraciones requieren cambios continuos, y sería recomendable que estos cambios sean realizados por personas que conocen el proceso y sus necesidades operativas.

Al escoger el software de visualización, se sugiere analizar el costo de adquisición de un paquete tipo Labview o Intouch frente a alternativas como por ejemplo el Visual C o Visual Basic. Es muy posible que los tiempos de producción reducidos que ofrecen los primeros se compensen con los costos reducidos de los últimos. También analizar la posibilidad de adquirir una solución comercial. Para esto, se debería contemplar los cambios a efectuarse a futuro y sobre la marcha.

## BIBLIOGRAFÍA

## BIBLIOGRAFÍA

Siemens, Microsistema SIMATIC S7-200 "EL S7-200 EN DOS HORAS", edición 01/2000.

Siemens, System Manual "S7-200 PROGRAMMABLE CONTROLLER", edición 1998.

National Instruments, Bridgeview and Labview "G PROGRAMMING REFERENCE MANUAL", edición 1998.

National Instruments, Labview "Code Interface Reference Manual", edición 1998.

National Instruments, Labview "Function and VI Reference Manual", edición 1998.

Siemens, Infrared CO2 Controller Type: ZFP-DZ "INSTRUCTION MANUAL".

Van Dijk Heating, "REGULATIONS FOR THE CO2 DOSING UNIT", Diciembre 1999.

B-E DE LIER B.V., "EPLAN CAE SYSTEM", Diciembre 1999.

SERCOM REGELTECHNIEK BV, "INSTRUCTION MANUAL AND PROCESS PROGRAMM", Diciembre 1999.

Ing. Rubén Fainstein, "MANUAL PARA EL CULTIVO DE ROSAS EN LATINOAMÉRICA".

Molina Jorge, "APUNTES DE CONTROL INDUSTRIAL", Escuela Politécnica Nacional



Tesis Facultad de Ingeniería Eléctrica, "DESARROLLO E IMPLEMENTACION DE UN SISTEMA DE ADQUISICIÓN Y CONTROL DE DATOS CON VISUAL BASIC, UTILIZANDO PROTOCOLO MODBUS RTU", José León – Juan Silva, Noviembre 1999..

Tesis Facultad de Ingeniería Eléctrica, "INTERFAZ DE SOFTWARE ENTRE UN PC Y UN PLC, MEDIANTE UN DRIVE DE COMUNICACIÓN Y SU APLICACIÓN EN EL CONTROL Y MONITOREO DE UN INVERNADERO", Edwin Valencia, 1999.

Tesis Facultad de Ingeniería Eléctrica, "CONTROL ELECTRÓNICO DE CALDERAS EN BASE A UN MICROCONTROLADOR", José Puebla Basantes.

**Internet:**

[www.fujitsu-siemens.com](http://www.fujitsu-siemens.com)

[www.Siemens.com](http://www.Siemens.com)

[www.monografías.com/trabajos2/camcliglobal/camcliglobal.shtml](http://www.monografías.com/trabajos2/camcliglobal/camcliglobal.shtml)

[www.inta.gov.ar/procadis/invernad.htm](http://www.inta.gov.ar/procadis/invernad.htm)

ANEXO A

INSTALLATION PROTECTION EQUIPMENT

SAFETY-VALVE  
3 Bar

FLUEGASSES OUT

THERMOMETER  
0-120°C

LIQUID  
SEALANT

THERMOMETER

BYPASS

WATER IN

THERMOMETER

FILL- OR DRAINCOCK

DISTRIBUTION VALVE APPENDIX 3  
SHUTTLE VALVE APPENDIX 2

END SWITCH

MAXIMUM PRESSURE  
SWITCH

WATER OUT

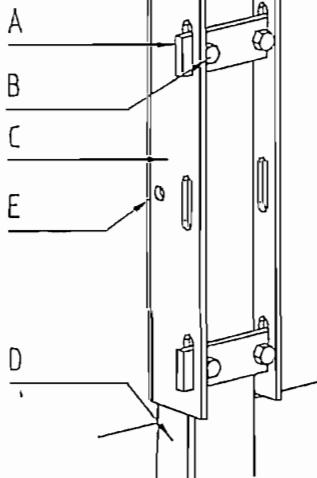
MAX. THERMOSTAT  
95°C

FLUEGASSES IN

END SWITCH

THERMOMETER  
0-300°C

INSPECTION HOLE



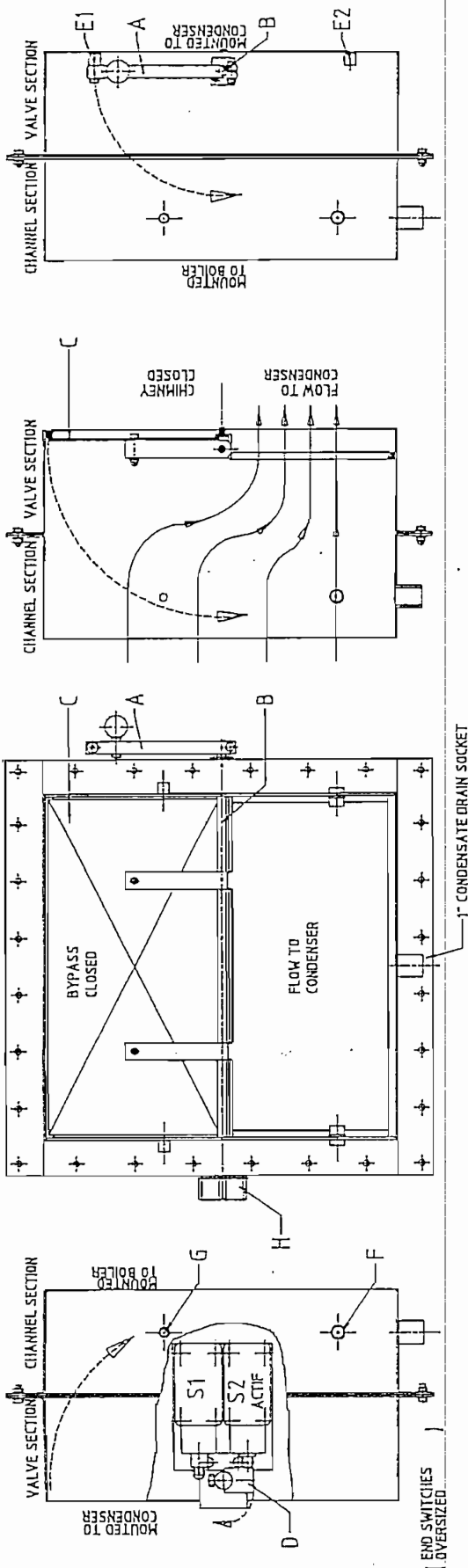
DETAIL LEG ATTACHMENTS  
2.3.1 EN 2.3.2.

LIQUID SEALANT

CONDENSE  
DRAIN

100

Anexo A  
Especificaciones Técnicas

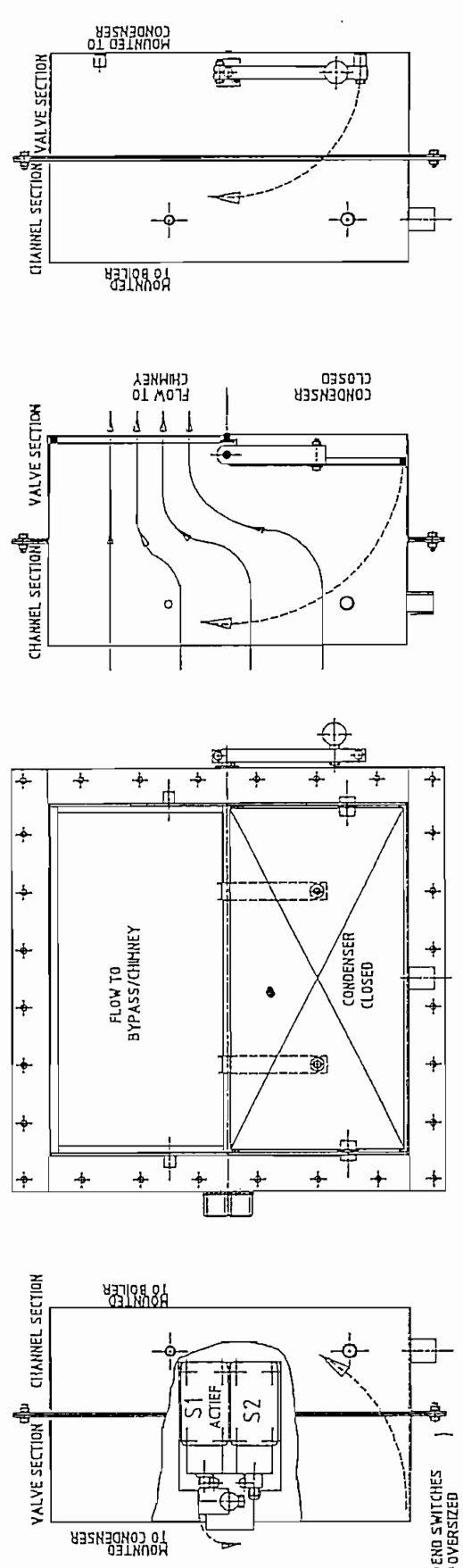


RIGHT SIDE-VIEW

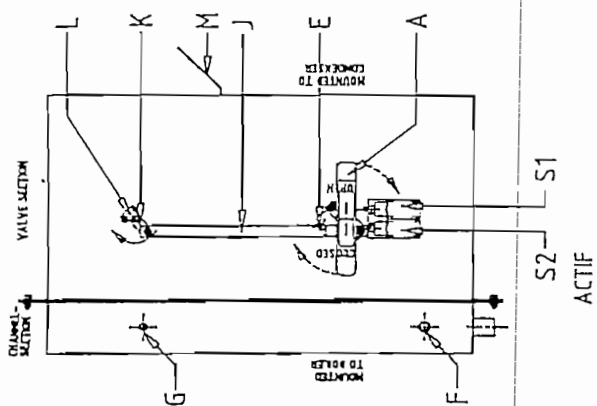
CROSS-SECTION

FRONT-VIEW

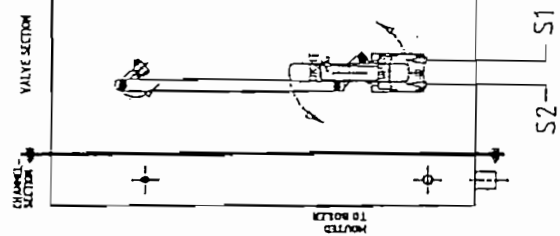
LEFT SIDE-VIEW



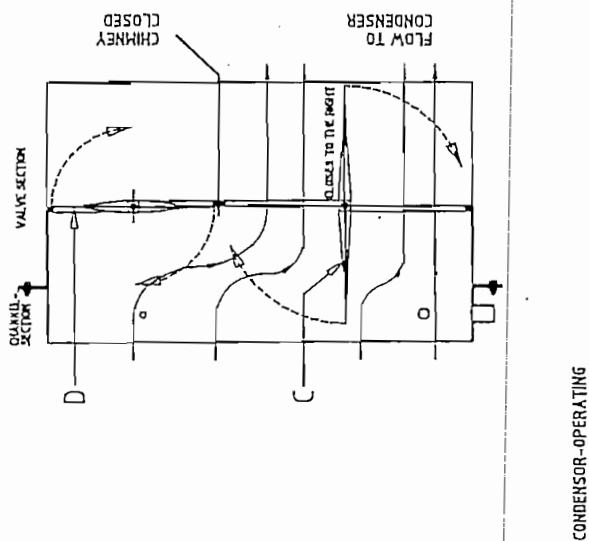
Anexo A  
Especificaciones Técnicas



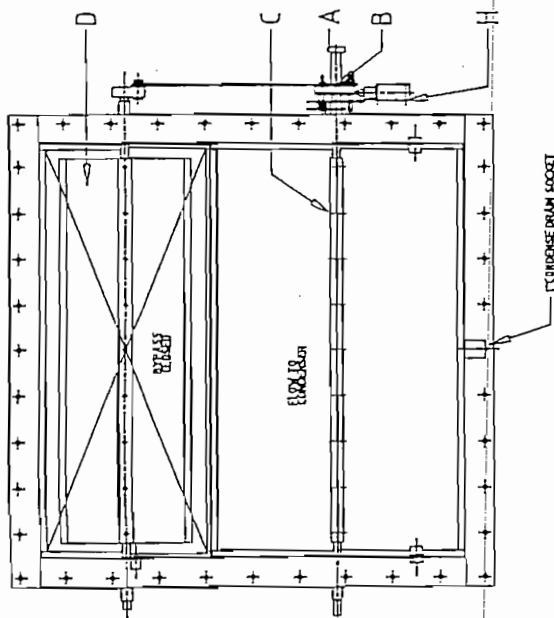
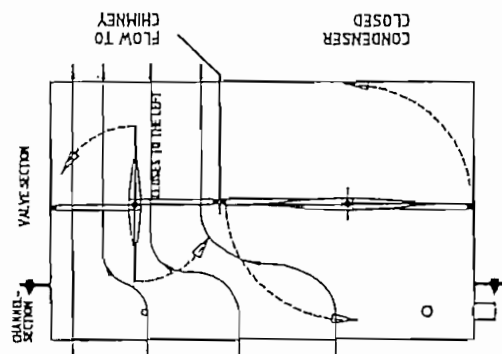
SIDE-VIEW



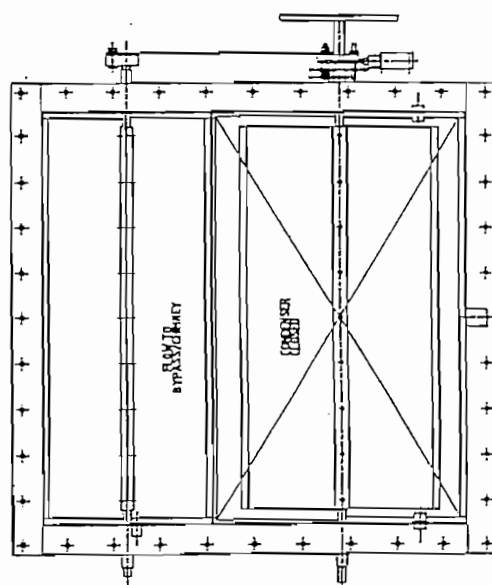
A-3



CROSS-SECTION



FRONT-VIEW



APPENDIX 4 instruction manual flue gas condenser

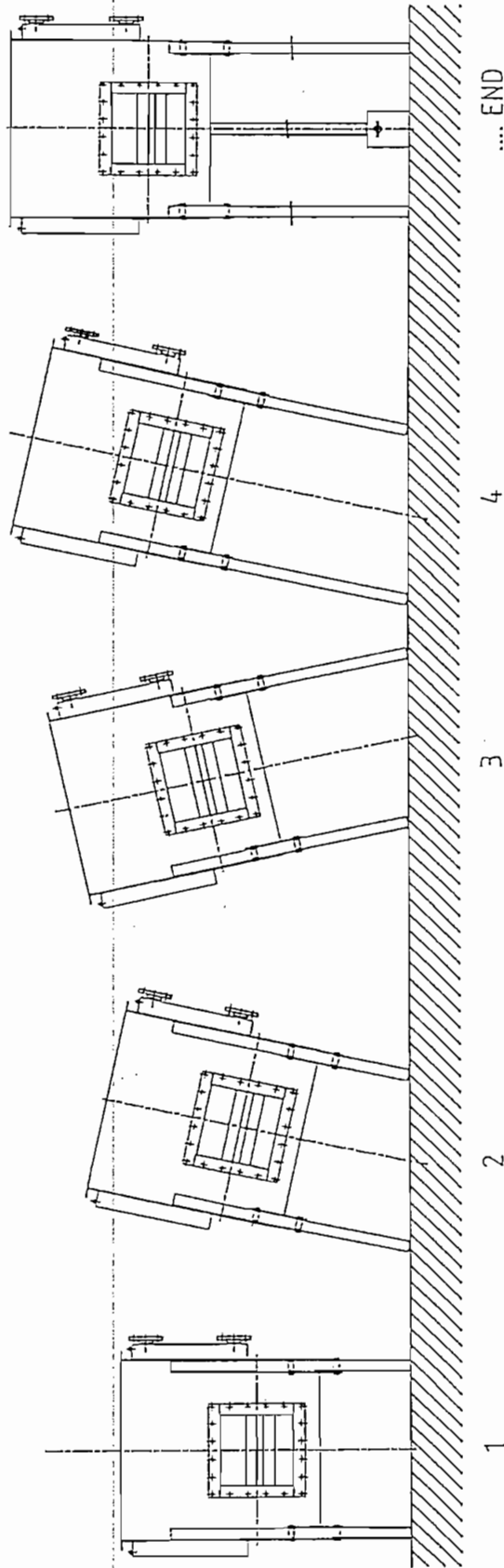
11-08-99

SAFETY VALVES  
ACCORDING TO: NEN 3028

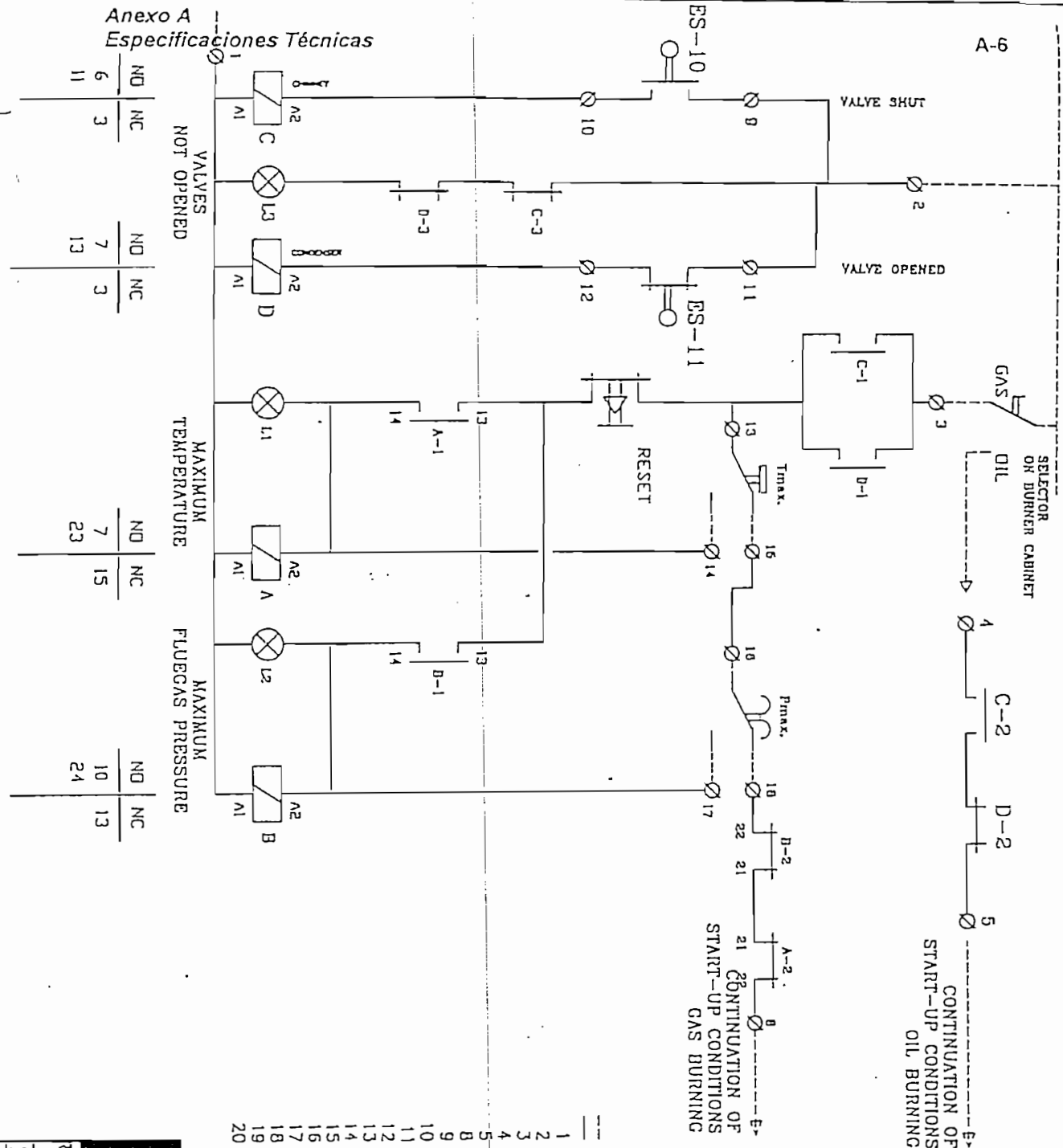
TO COOL DOWN THE FLUEGASSES FROM 180 °C TO 95°C  
PRESSURE (bar) 3

CONDENSER CAPACITY AT 95 °C kW	min DIAMETER (d) mm	BOILER CAPACITY kW
25	6,1 Prescor 1/2"	581
50	8,6 Prescor 1/2"	1163
75	10,5 Prescor 1/2"	1744
100	12,1 Prescor 1/2"	2326
125	13,6 Prescor 1/2"	2907
150	14,8 Prescor 1"	3488
175	16,0 Prescor 1"	4070
200	17,1 Prescor 1"	4651
225	18,2 Prescor 1"	5233
250	19,2 Prescor 1"	5814
275	20,1 Prescor 1"	6395
300	21,0 Prescor 1"	6977
325	21,9 Prescor 1"	7558
350	22,7 Prescor 1"	8140
375	23,5 Prescor 1"	8721
400	24,2 Prescor 5/4"	9302
450	25,7 Prescor 5/4"	10465
500	27,1 Prescor 5/4"	11628
550	28,4 Prescor 5/4"	12791
600	29,7 Prescor 5/4"	13953
640	30,7 Prescor 5/4"	14884
650	30,9 Prescor S 5/4"	15116
700	32,1 Prescor S 5/4"	16279
750	33,2 Prescor S 5/4"	17442
800	34,3 Prescor S 5/4"	18605

2.3.2. Set-up sequence when space is limited



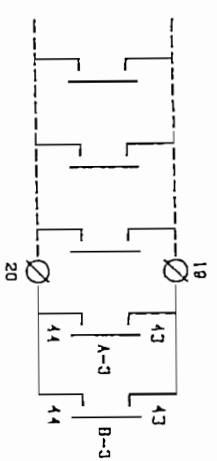
Anexo A  
Especificaciones Técnicas



CONTINUATION OF  
START-UP CONDITIONS  
OIL BURNING

CONTINUATION OF  
START-UP CONDITIONS  
GAS BURNING

ALARM CIRCUIT BOILER CONTROL PANEL



TERMINALS

- WIRING BURNER CONTROL PANEL
- WIRING CONDENSER PANEL
- 1 ZERO 220 VAC FROM BOILER CONTROL PANEL
- 2 220 VAC FROM BOILER CONTROL PANEL
- 3 START-UP CONDITIONS GAS
- 4 START-UP CONDITIONS OIL
- 5 CONTINUATION START-UP CONDITIONS OIL
- 6 CONTINUATION START-UP CONDITIONS GAS
- 7 LIMIT SWITCH CHIMNEY
- 8 LIMIT SWITCH CHIMNEY
- 9 LIMIT SWITCH CONDENSER
- 10 LIMIT SWITCH CONDENSER
- 11 LIMIT SWITCH CONDENSER
- 12 LIMIT SWITCH CONDENSER
- 13 LIMIT SWITCH (COMMON)
- 14 T<sub>max</sub> (NORMALLY OPEN)
- 15 T<sub>max</sub> (NORMALLY CLOSE)
- 16 P<sub>max</sub> (COMMON)
- 17 P<sub>max</sub> (NORMALLY OPEN)
- 18 P<sub>max</sub> (NORMALLY CLOSE)
- 19 ALARM CIRCUIT BOILER CONTROL PANEL
- 20 ALARM CIRCUIT BOILER CONTROL PANEL

VALVES NOT OPENED		MAXIMUM TEMPERATURE		MAXIMUM FLUEGAS PRESSURE	
NO	NC	NO	NC	NO	NC
6	3	7	15	10	13
11		23		24	

**van Dijk** heating

Reguliererwing 7 3901 LA Bunnik (NL)  
Postbus 29 3980 CA Bunnik (th.)

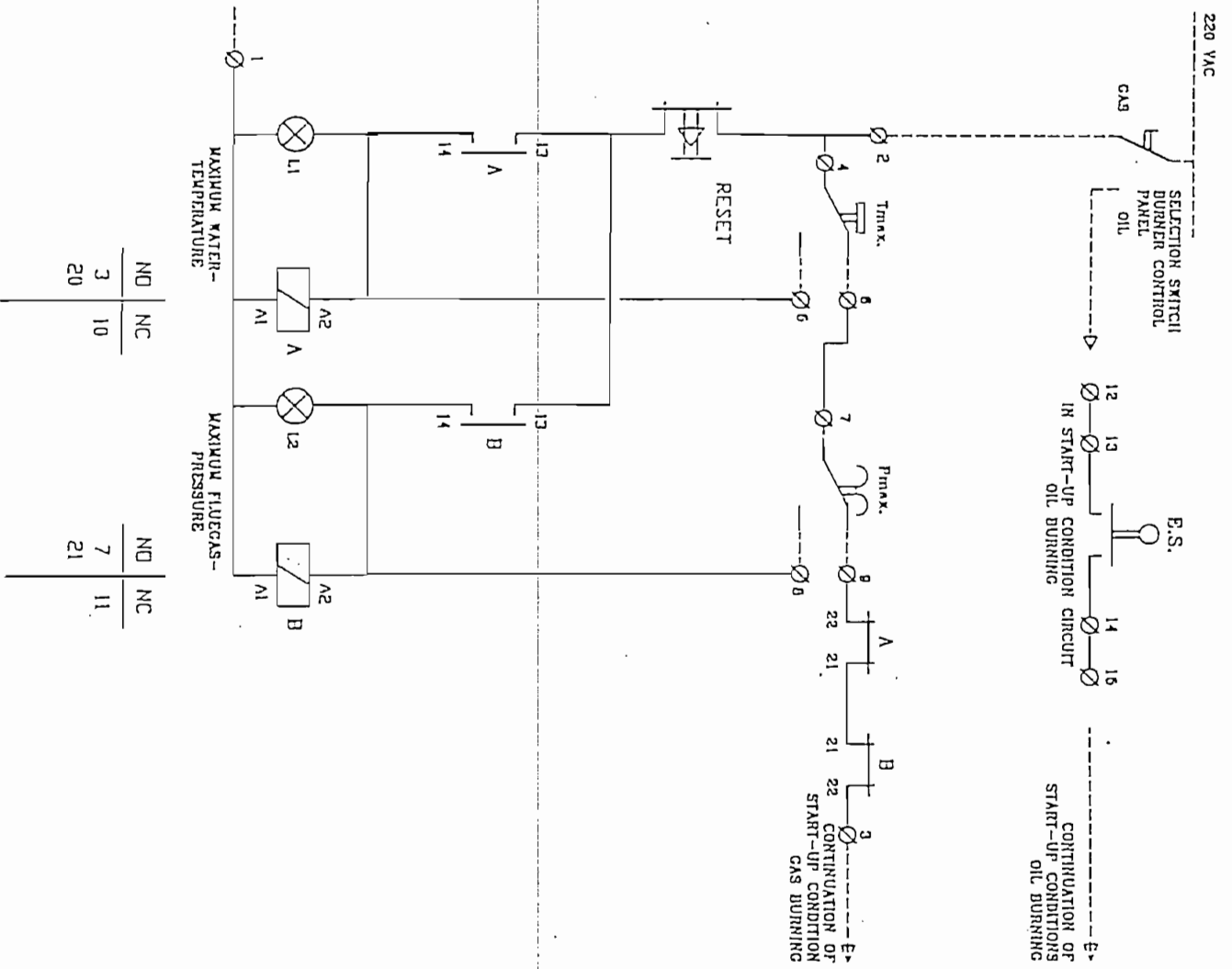
SAFETY-CIRCUIT FLUEGASCONDENSER-TEK.NR.

GET:JPHJ DAT:05-00 CEK: 00-02 08-03 02-03

- 141-81065-6111  
141-81065-6121

BS2-1

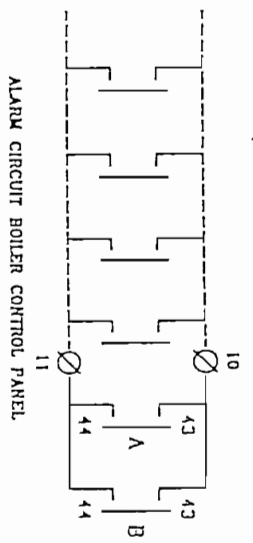




ND	NC
3	10
20	

ND	NC
7	11
21	



ALARM CIRCUIT BOILER CONTROL PANEL

TERMINALS:

- 1 WIRING BURNER CONTROL PANEL
- 2 WIRING CONDENSER PANEL
- 3 ZERO VAC FROM BOILER CONTROL PANEL
- 4 220 VAC FROM BOILER CONTROL PANEL
- 5 CONTINUATION START-UP CONDITION GAS BURNING
- 6 Tmax (COMMON)
- 7 Tmax (NORMAL OPEN)
- 8 Tmax (NORMAL CLOSED)
- 9 Pmax (COMMON)
- 10 Pmax (NORMAL OPEN)
- 11 Pmax (NORMAL CLOSED)
- 12 ALARM CIRCUIT BOILER CONTROL PANEL
- 13 ALARM CIRCUIT BOILER CONTROL PANEL
- 14 END SWITCH FLUEGAS VALVE (STARTUP CIRCUIT OIL BURNING)
- 15 END SWITCH FLUEGAS VALVE (STARTUP CIRCUIT OIL BURNING)

**van Dijk** heating

Regulerend 7 3981 LA Bunnik (NL) • Tel: 0165-5366  
 Postbus 29 3900 CA Bunnik (NL) • Fax: 0165-61366

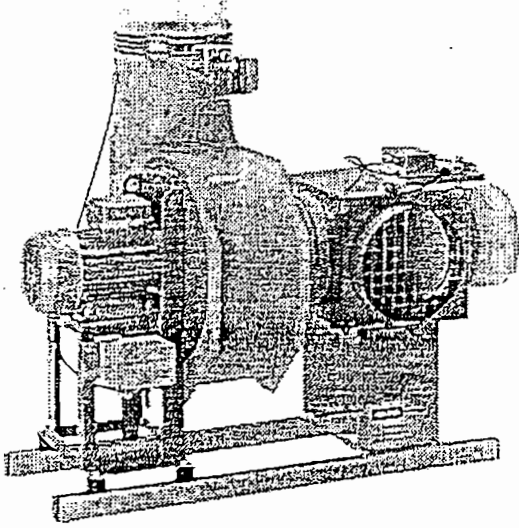
SAFETY-CIRCUIT FLUEGASCONDENSER-TEK.NR.  
 DSI-ENC

DE:1/111 DAT:05-00 CEK: 00-02 08-03 02-03

# TECHNICAL DATA OF CO<sub>2</sub>-DOSING UNITS

CO<sub>2</sub>-unit with synthetic fan casing

A-8



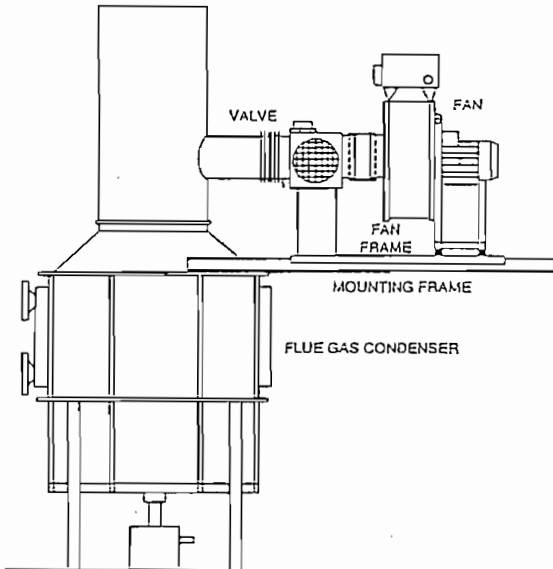
These CO<sub>2</sub>-units are designed for use with a condenser for flue gas of a temperature below 60 °C.

The CO<sub>2</sub>-unit comprises:

- type D1 HN 200-11: with synthetic impeller (PP).
- type D2 SL 250-22, D3 SL 250-30, D5 SL 315-55 en D6 SL 400-100 with stainless-steel impeller.
- complete with:
  - seal on impeller shaft
  - 1/4" connection for CO-detector
  - 1/2" connection for max. temp. thermostat
  - 1/2" connection for pressure switch
  - 4 vibration absorbers
  - 2 gaskets with strap clamps
  - condensate drain
  - fully closed three-phase current motor IP 54
  - Stainless steel three-way valve with (24V or 220V) motor and limit switch
  - switch panel
  - min. pressure switch and max. temp. thermostat
  - fan with valve mounted on one frame

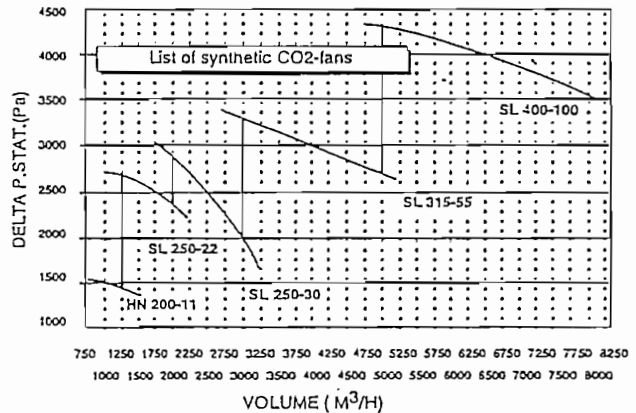
Type	Motor power kW	Flue gas capacity m <sup>3</sup> /h
D1 HN 200- 11	1,1	tot 1250
D2 SL 250- 22	2,2	1250-2000
D3 SL 250- 30	3,0	2000-3000
D5 SL 315- 55	5,5	3000-5000
D6 SL 400-100	10,0	5000-8000

The fan casing is rotatable, which allows the exhaust port position to be adapted by special order. The fans have a direct drive (impeller coupled direct to motor shaft).



INSTALLATION OF CO<sub>2</sub> UNIT ON FLUE GAS CONDENSER

## SUMMARY OF CHARACTERISTICS



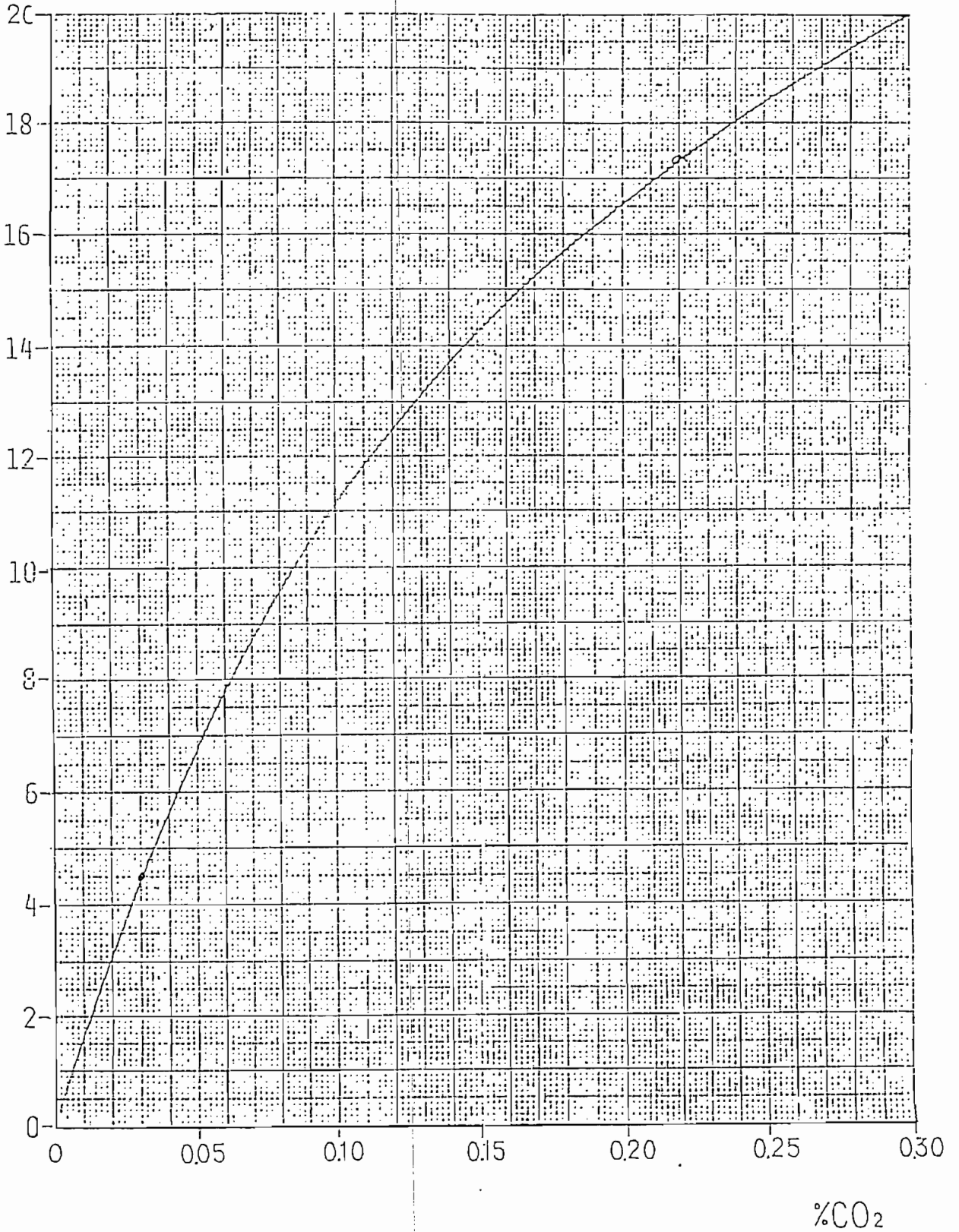
Note:

Units having different motor types, voltages, control systems and designs are available on request.

CO<sub>2</sub>-DOSING UNITS

0-0.3% CO<sub>2</sub> CALIBRATION CURVE

OUTPUT  
mA





CO<sub>2</sub> content (=) \_\_\_\_\_ ppm

If the vents are closed this set point value controls the desired value of the CO<sub>2</sub>-concentration inside the glasshouses only if the CO<sub>2</sub> timer is active. This CO<sub>2</sub> timer can be set on "Setting page 3" of 'General', see Part B of the Instruction Manual.

This set point has a graphic page with which a different set point value can be entered for each hour. This graphic page can be loaded by pressing the "Extra" key while you are at this set point.

The following set points can still affect this set point value:

- "Light influence"
- "Vent range"
- "Lower limit"

Light influence \_\_\_\_\_ ppm

The dosing of the "CO<sub>2</sub> content" can be influenced according to the amount of sunlight, in which case:

- a positive value will increase the CO<sub>2</sub>.
- a negative value will decrease the CO<sub>2</sub>.

The influence of this set point will increase accordingly with an increase in the amount of sunlight. However, the increase is not directly proportional. This set point will also be active on relatively low light. The activation can take place in two ways:

Approach 1.

You make use of the two set points of the "Adjustment" page, namely:

- "Start light trajectory"
- "End light trajectory 0=auto"

The desired CO<sub>2</sub> value will not increase if the amount of sunlight measured is lower than the set point "Start light trajectory". The light influence on the CO<sub>2</sub> content is completely active if there is more sunlight than the set point "End light trajectory 0=auto".

Approach 2.

If you intend only on using the set point "Start light trajectory". If you set the set point "End light trajectory 0=auto" on 0, the light influence will be maximal if the sunlight reached its maximal value at the time of the year. The maximum light influence therefore adapts automatically to the time of the year.

Example.

Assuming:

"CO<sub>2</sub> content" 800 ppm

"Light influence" 300 ppm

Consequence:

In the glasshouse a CO<sub>2</sub> content of 800 ppm would be ideal. In much light (more than End light trajectory 0=auto) a CO<sub>2</sub> value of 800 + 300 = 1100 ppm would be ideal.

Attention!

The light trajectory will have the same effect on the following set points:

- the "Ventilation temperature"
- the "Heating temperature" (thus not the min.- and max.-tube temperature)
- the "CO<sub>2</sub> content"
- the "Relative humidity" or the "Humidity deficit"

Vent range \_\_\_\_\_ %

If the vents at the leeward side have reached the value of the CO<sub>2</sub> value entered here, the desired value will be decreased to 50% of the desired "CO<sub>2</sub> content" at that particular moment. If the vents are opened farther at the leeward side, the desired CO<sub>2</sub> concentration will be further decreased.

A special situation comes into being, if this set point is set to 0.0. In this case, the set point of the CO<sub>2</sub>-level will not be decreased when the vents open. The set point "lower limit" however, will still function.

See also the set point "Lower limit" mentioned below.

Lower limit \_\_\_\_\_ ppm

The set point value entered here is the minimum amount of required "CO<sub>2</sub> content" can fall to during the opening of vents. The CO<sub>2</sub> timer should be activated for this set point to function.

Deviation high alarm \_\_\_\_\_ ppm

An alarm will be activated if the measured CO<sub>2</sub>-concentration in the glasshouse exceeds the desired "CO<sub>2</sub> content" plus "Deviation high alarm", provided that it is activated. See setting page "Alarms".

Deviation low alarm \_\_\_\_\_ ppm

An alarm will be activated if the measured CO<sub>2</sub>-concentration in the glasshouse reduces below the desired "CO<sub>2</sub> content" plus "Deviation low alarm", provided that it is activated. See setting page "Alarms".

## Circulation ventilators

The circulation ventilators can be controlled by this set point. There are three positions that can be selected:

- Off ; Circulation ventilators are shut down.
- On ; Circulation ventilators are activated.
- Auto ; Circulation ventilators will be activated according to one of the following conditions:
  - the screen is closed more than 80%.
  - the relative humidity (%) is higher than "Start at more hum. than".
  - or the humidity deficit (g/m3) is lower than "Start if more hum. than".
  - the desired heating temp. "HEAT.\*Temp.netw. 1" is higher than "Start at tube higher than".

Start at more hum.than g/m3

The set point here is the amount of humidity deficit with which the "Circulation ventilators" are activated if there is excess humidity.

Start at more hum.than %

The relative humidity above which the "Circulation ventilators" will be activated.

Start at higher tube than °C

The tube temperature of Network 1 above which the "Circulation ventilators" will be activated.

# MEASUREMENT PAGE 2 Greenhouse climate

To receive this page on your screen, please select "MEASUREMENT PAGE" and then press the <00> key. You will be presented with the underlying "MEASUREMENT PAGE 2".

SERCOM	MEASUREMENT 2	GREENH.1
Radiation for screens	W/m2	96
Main screens		
Screen 1	100.0	Screen 2    -.-
Rolling screens		
Screen 1	12.0	Screen 3    24.0
Screen 2	100.0	Screen 4    100.0
Side screens		
Screen 5	100.0	Screen 6    -.-
Screen 7	-.-	Screen 8    -.-
Adjust control heating		%    -.-
Add. glassh. temp.°C	22.2	23.0
Illumin. Status	*.*..***.....	Active timer    4
Tuesday	1 January 19xx 10.02 uur	

Figure 2

Also in this underlying measurement page it is not possible to change any values. A general overview of measurements, calculations and set points of one block is displayed.

In case you wish to scroll further, you can go back to the first (upper) measurement page by using the <00> key. For further information about the operation device please refer to the "User manual LCD/VGA-operation device" or "User manual GA program".

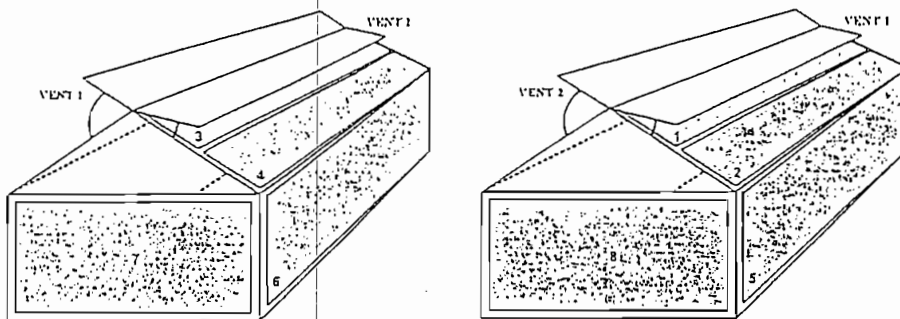


Figure 3

## Radiation for screens W/m2

The radiation measured by the weather station that is applicable to the screen program.

The set points "Screening light limit 0=off" and "Energy light limit 0=off", on the "Screening" page, determine at what point of radiation the screens will close.

## Main screen 1

The screen position for main screen 1, accounting for the opening delay, humidity, dew point and temperature openings.

If a feedback Indicator is used to measure the screen position, the value entered here will be the measured screen position. If there is no feedback indicator used, the value entered here will be the specified screen position.

## Main screen 2

The specified screen position for main screen 2, that includes the delayed opening and the humidity, dew point and temperature opening positions.

Rolling screen 1

The specified position for rolling screen 1, that includes the delayed opening and the humidity, dew point and temperature opening positions. This top-screen operates together with vent 1 but three times faster. If vent 1 is open to a position of 33% , then screen 1 is completely open (100%).

Rolling screen 2

The specified position for rolling screen 2, that includes the delayed opening and the humidity, dew point and temperature opening positions.

Rolling screen 3

The specified position for rolling screen 3, that includes the delayed opening and the humidity, dew point and temperature opening positions. This top-screen operates together with vent 2 but three times faster. If vent 2 is open to a position of 33% , then screen 3 is completely open (100%).

Rolling screen 4

The specified position for rolling screen 4, that includes the delayed opening and the humidity, dew point and temperature opening positions.

Side screen 5

The specified position for rolling screen 5, that includes the delayed opening and the humidity, dew point and temperature opening position.

Side screen 6

The specified position for rolling screen 6, that includes the delayed opening and the humidity, dew point and temperature opening positions.

Side screen 7

The specified position for rolling screen 7, that includes the delayed opening and the humidity, dew point and temperature opening positions.

Side screen 8

The specified position for rolling screen 8, that includes the delayed opening and the humidity, dew point and temperature opening positions.

Adjust control heating \_\_\_\_\_ %

The standard control interferes during times when the self-control feature cannot complete the correction. If the correction is too great, more than 10% or less than -10% over a long period of time, then please contact your installation technician to judge the problem and make the necessary improvements.

Add. glassh.temp. \_\_\_\_\_ °C

This set point is for additional temperature measurement such as air and water temperatures, within the glasshouse.

Add. glassh.temp. \_\_\_\_\_ °C

This set point is for additional temperature measurement such as air and water temperatures, within in a glasshouse.

Illumin. \* \* \* \* \* . . . . .

This is the display with which to monitor the number of active supplementary lighting groups in the glasshouse. The number of dots or asterisks indicates the number of groups active. The dots . indicate the number of groups not active whilst the asterisks \* indicate how many groups are active. The maximum number of supplementary lighting groups per glasshouse is 20.

Status active timer

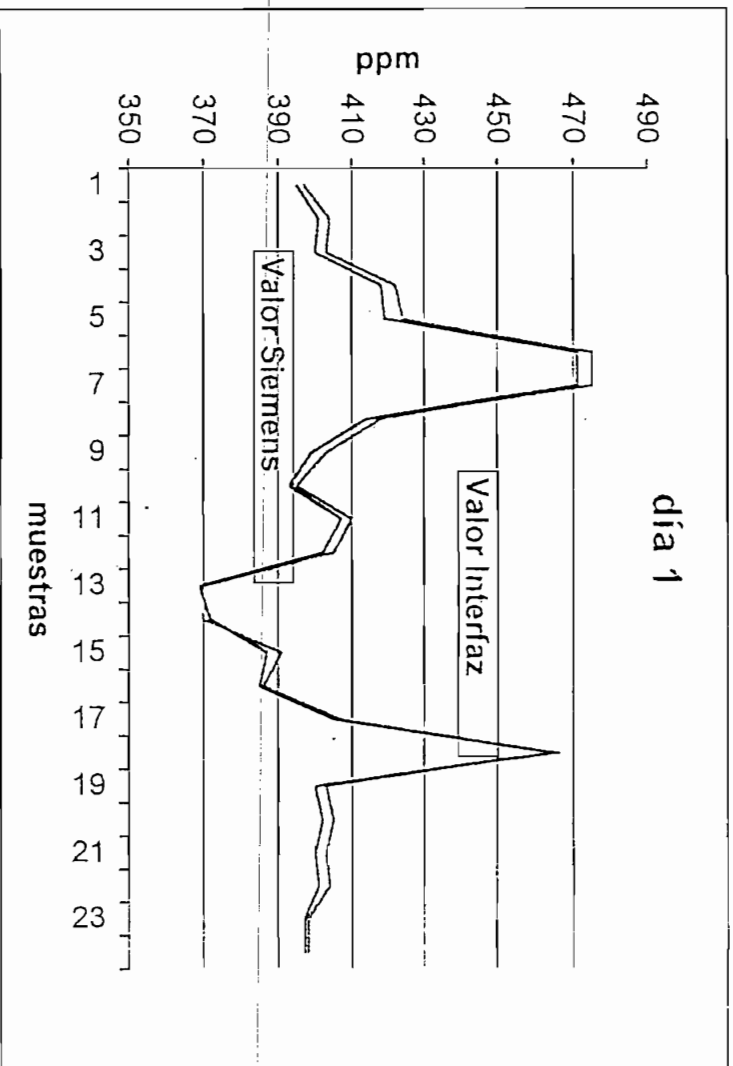
Status: the status timer can provide the following reports about the supplementary lighting:

- normal ; there are no abnormalities. The groups can be activated.
- astron. ; the astronomical timer is active. The groups will commence if there has been insufficient sunlight for an hour.
- em.stop ; emergency stop, will appear at TE installation. This text will appear if there is a problem with the TE installation.

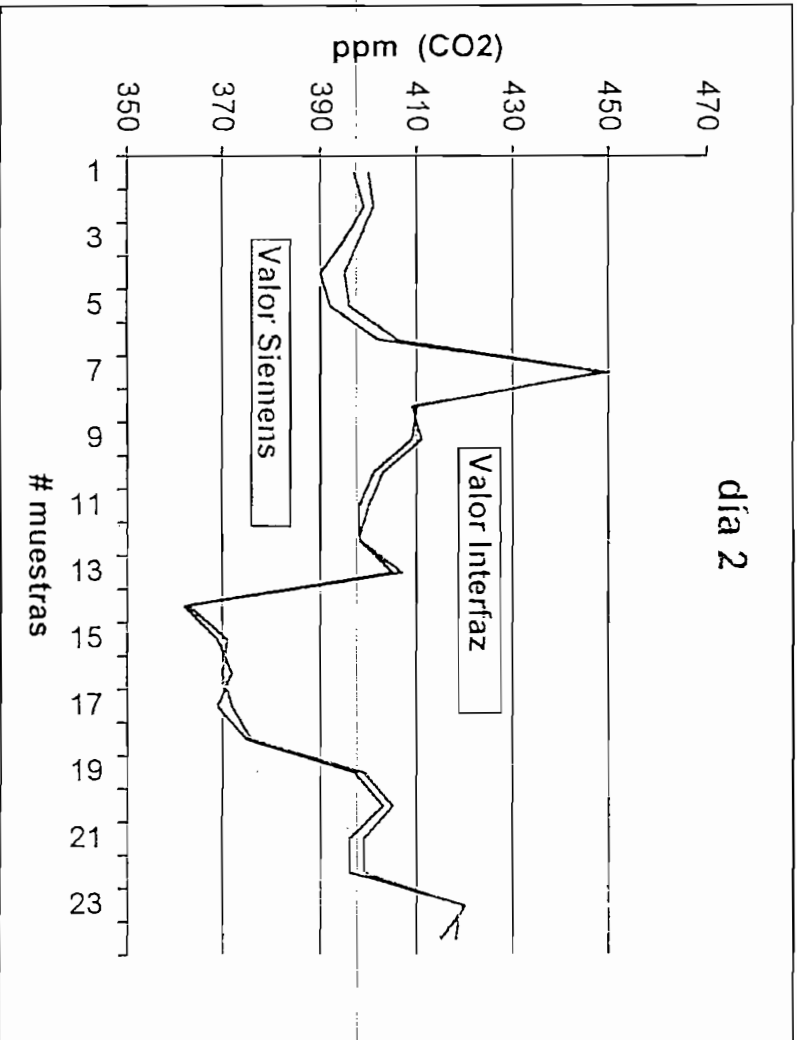
Timer active ; this indicates which of the four start timers is active.



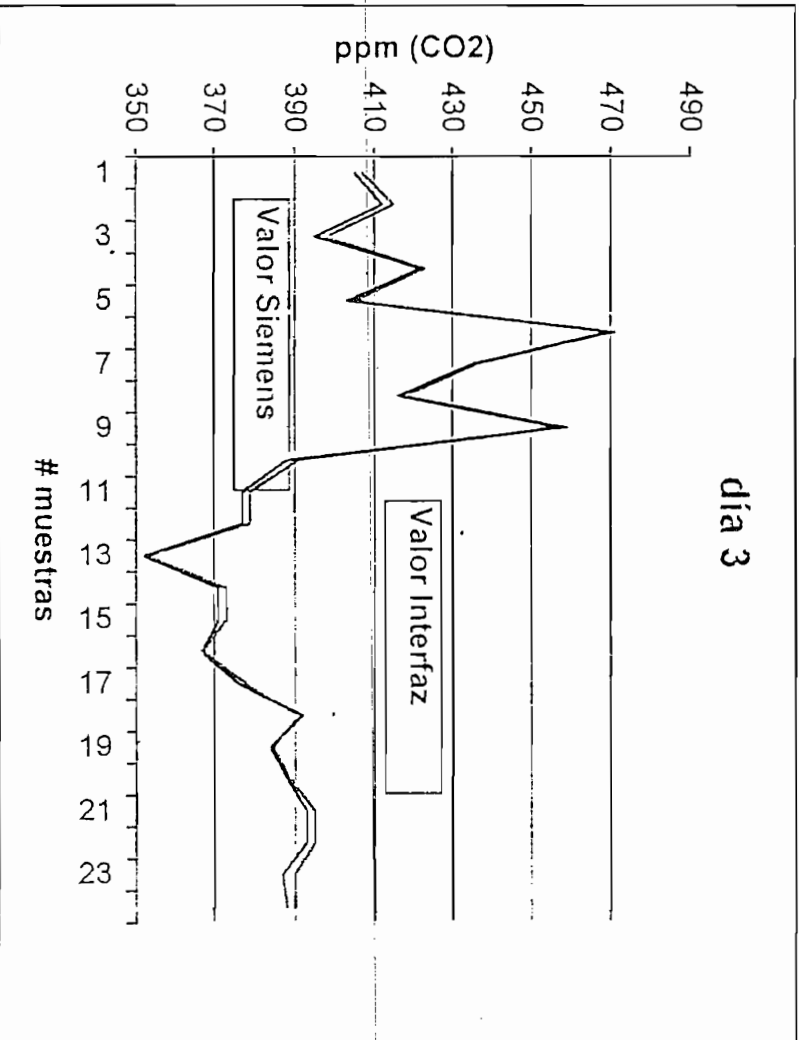
día	#	Valor	Valor	Error
	muestra	Interfaz	Siemens	%
ene-27	1	395	397	0,50377834
	2	401	404	0,74257426
	3	400	403	0,74441687
	4	418	422	0,9478673
	5	419	424	1,17924528
	6	471	475	0,84210526
	7	471	475	0,84210526
	8	414	418	0,9569378
	9	399	403	0,99255563
	10	393	395	0,50632911
	11	407	410	0,73170732
	12	402	405	0,74074074
	13	369	370	0,27027027
	14	372	370	0,54054054
	15	387	391	1,0230179
	16	385	386	0,25906736
	17	405	407	0,49140049
	18	465	466	0,21459227
	19	400	403	0,74441687
	20	402	405	0,74074074
	21	400	403	0,74441687
	22	401	404	0,74257426
	23	397	398	0,25125628
	24	397	398	0,25125628



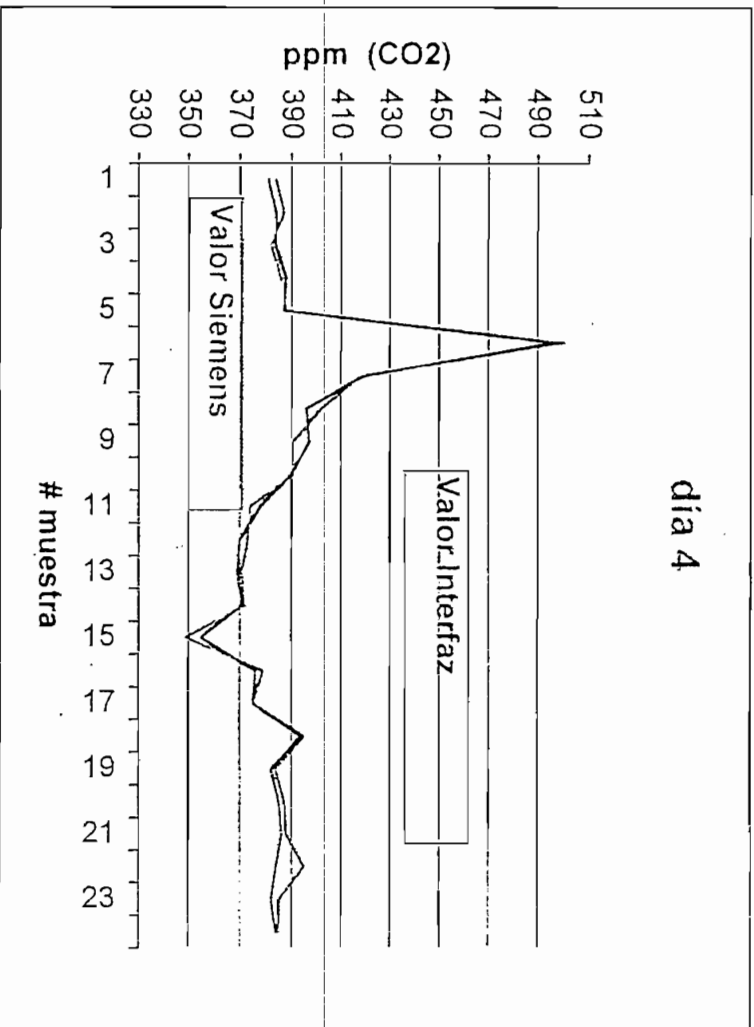
dia	# muestra	Valor Interfaz	Valor Siemens	Error %	
ene-28	1	397	400	0,75	
	2	399	401	0,49875312	
	3	395	398	0,75376884	
	4	390	395	1,26582278	
	5	392	396	1,01010101	
	6	402	406	0,98522167	
	7	449	450	0,22222222	
	8	410	409	0,24449878	
	9	409	411	0,486618	
	10	401	403	0,49627792	
	11	398	400	0,5	
	12	398	398	0	
	13	37	405	407	0,49140049
	14	38	362	363	0,27548209
	15	39	369	371	0,53908356
	16	40	372	370	0,54054054
	17	41	369	372	0,80645161
	18	42	375	376	0,26595745
	19	43	397	399	0,50125313
	20	44	403	405	0,49382716
	21	45	396	399	0,7518797
	22	46	396	399	0,7518797
	23	47	420	419	0,23866348
	24	48	415	418	0,71770335



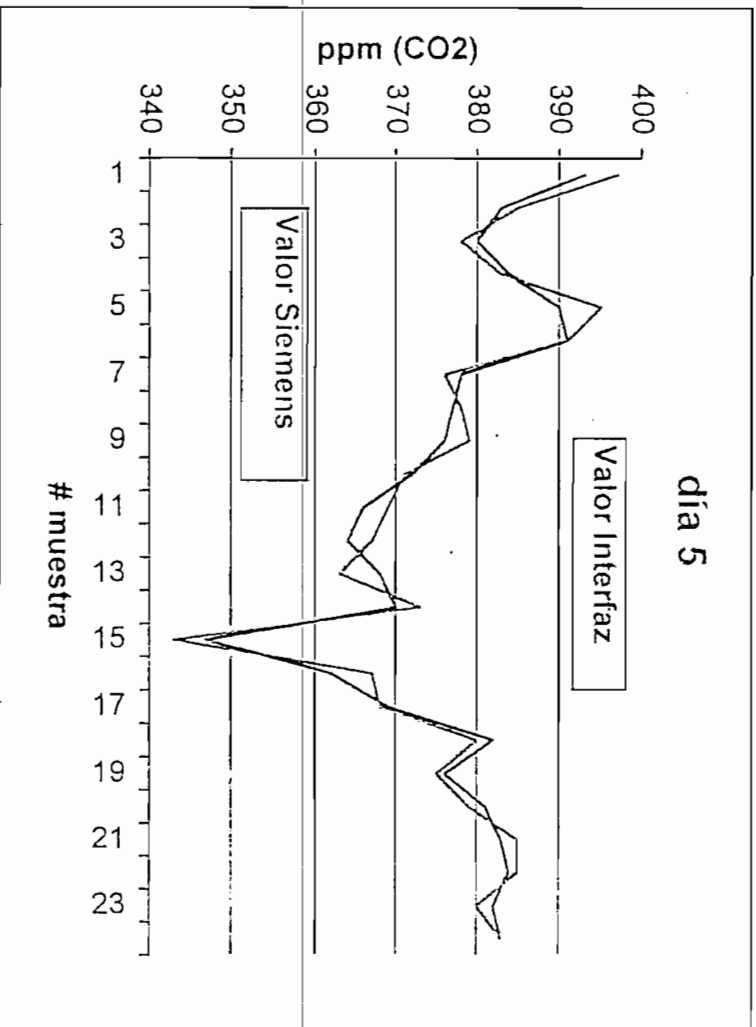
	#	Valor	Valor	Error	
dia	muestra	Interfaz	Siemens	%	
ene-29	1	50	405	407	0,49140049
	2	51	412	415	0,72289157
	3	52	395	398	0,75376884
	4	53	422	423	0,23640662
	5	54	403	405	0,49382716
	6	55	470	471	0,21231423
	7	56	435	436	0,2293578
	8	57	416	418	0,4784689
	9	58	457	459	0,43572985
	10	59	388	391	0,76726343
	11	60	377	379	0,52770449
	12	61	377	379	0,52770449
	13	62	352	353	0,28328612
	14	63	371	373	0,53619303
	15	64	371	373	0,53619303
	16	65	367	367	0
	17	66	376	378	0,52910053
	18	67	392	390	0,51282051
	19	68	384	385	0,25974026
	20	69	388	389	0,25706941
	21	70	393	395	0,50632911
	22	71	393	395	0,50632911
	23	72	387	390	0,76923077
	24	73	388	390	0,51282051



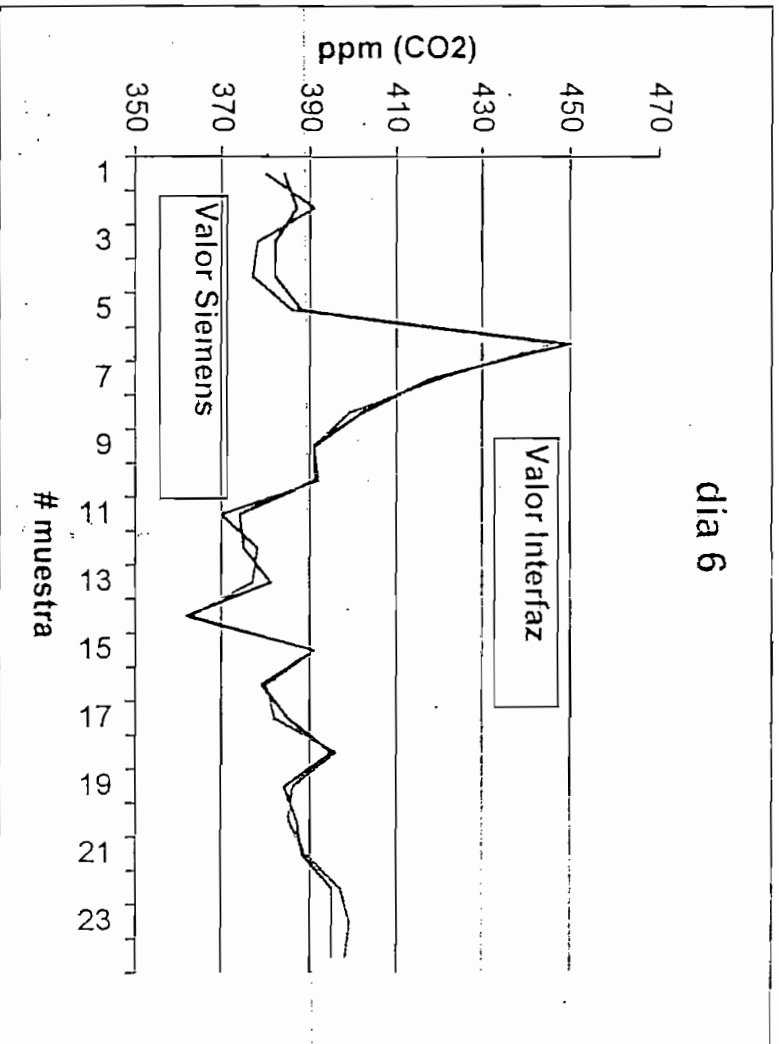
	#	Valor	Valor	Error	
día	muestra	Interfaz	Siemens	%	
ene-30	1	74	381	384	0,78125
	2	75	384	387	0,7751938
	3	76	384	382	0,52356021
	4	77	388	386	0,51813472
	5	78	387	388	0,25773196
	6	79	497	500	0,6
	7	80	419	418	0,23923445
	8	81	396	402	1,49253731
	9	82	397	391	1,53452685
	10	83	390	391	0,25575448
	11	84	378	374	1,06951872
	12	85	370	373	0,80428954
	13	86	369	371	0,53908356
	14	87	371	372	0,2688172
	15	88	355	349	1,71919771
	16	89	376	379	0,79155673
	17	90	375	375	0
	18	91	394	395	0,25316456
	19	92	382	384	0,52083333
	20	93	385	387	0,51679587
	21	94	386	388	0,51546392
	22	95	384	395	2,78481013
	23	96	382	385	0,77922078
	24	97	384	385	0,25974026



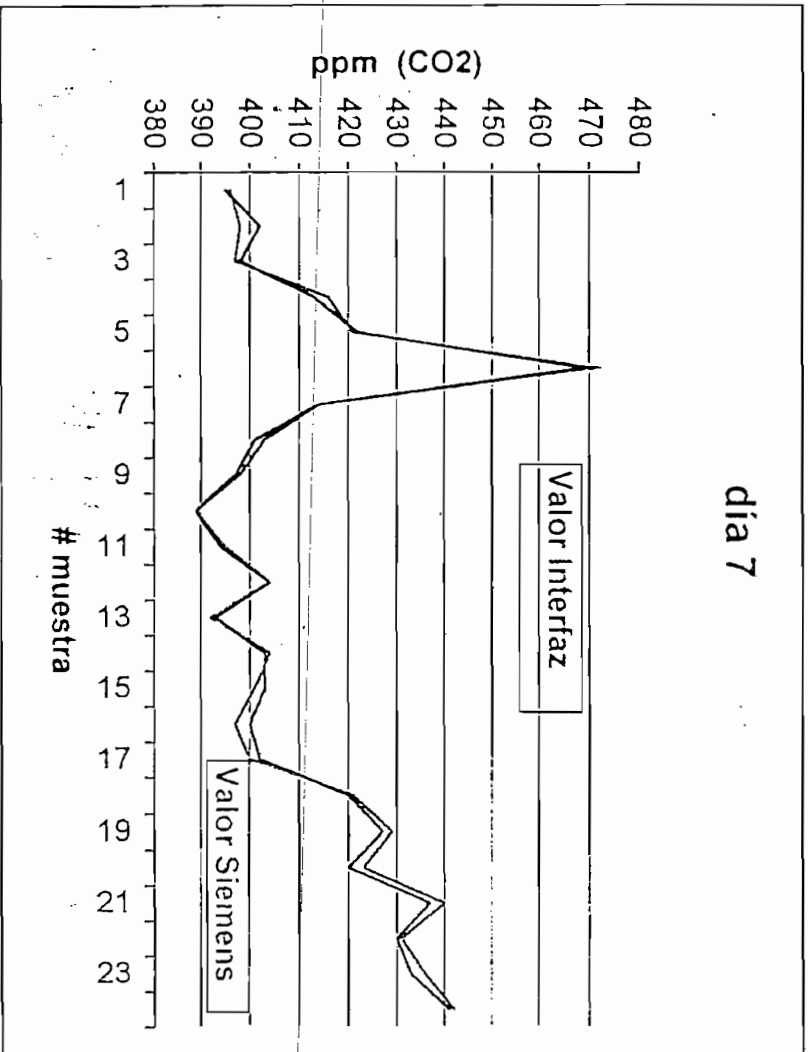
	#	Valor	Valor	Error	
día	muestra	Interfaz	Siemens	%	
feb-01	1	98	393	397	1,00756668
	2	99	383	385	0,51948052
	3	100	380	378	0,52910053
	4	101	384	383	0,26109661
	5	102	390	395	1,26582278
	6	103	391	391	0
	7	104	378	376	0,53191489
	8	105	377	378	0,26455026
	9	106	376	379	0,79155673
	10	107	372	371	0,26954178
	11	108	366	369	0,81300813
	12	109	364	367	0,81743869
	13	110	368	363	1,37741047
	14	111	370	373	0,80428954
	15	112	347	343	1,16618076
	16	113	362	367	1,36239782
	17	114	369	368	0,27173913
	18	115	382	380	0,52631579
	19	116	376	375	0,26666667
	20	117	381	379	0,52770449
	21	118	383	385	0,51948052
	22	119	384	385	0,25974026
	23	120	382	380	0,52631579
	24	121	383	383	0



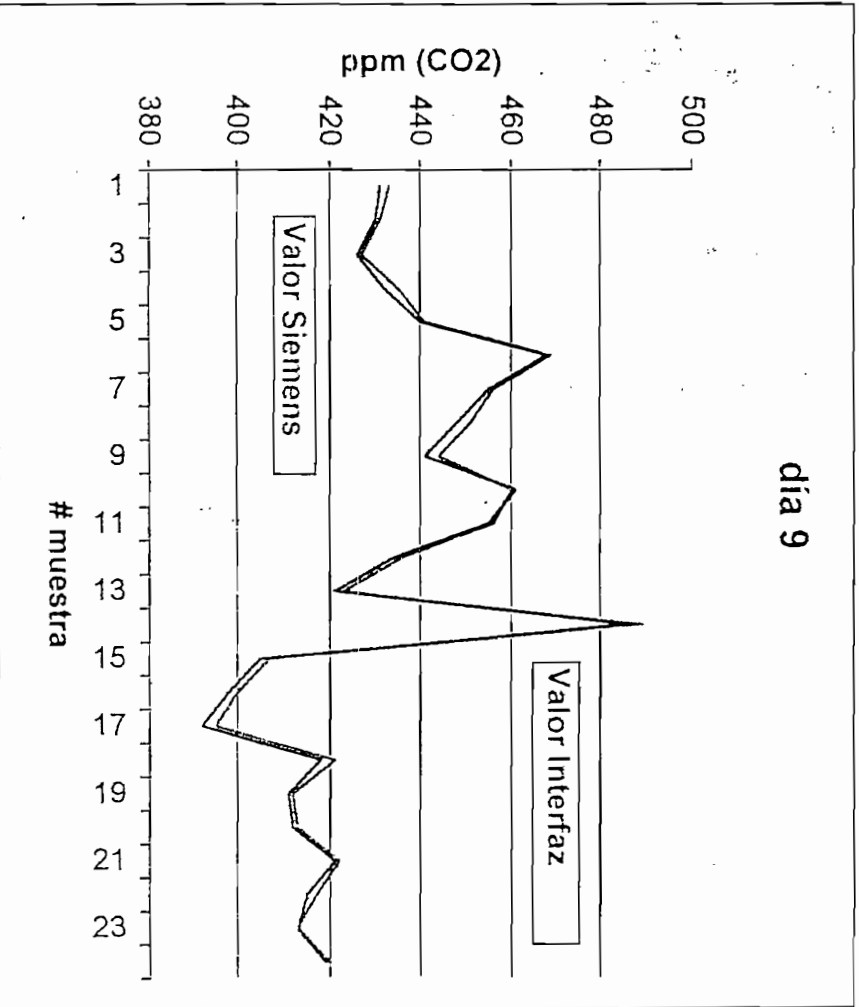
dia	# muestra	Valor	Valor	Error	
		Interfaz	Siemens	%	
feb-02	1	122	384	360	1,05263158
	2	123	387	391	1,0230179
	3	124	382	378	1,05820106
	4	125	382	377	1,32625995
	5	126	388	386	0,51813472
	6	127	450	446	0,89686099
	7	128	418	420	0,47619048
	8	129	402	399	0,7518797
	9	130	391	391	0
	10	131	391	392	0,25510204
	11	132	374	370	1,08108108
	12	133	375	378	0,79365079
	13	134	381	377	1,06100796
	14	135	362	363	0,27548209
	15	136	391	391	0
	16	137	379	380	0,26315789
	17	138	385	382	0,78534031
	18	139	395	396	0,25252525
	19	140	384	386	0,51813472
	20	141	387	385	0,51948052
	21	142	388	389	0,25706941
	22	143	395	397	0,50377834
	23	144	395	399	1,00250627
	24	145	395	398	0,75376884



alfa	#	Valor	Valor	Error	
	muestra	Interfaz	Siemens	%	
feb-03	1	146	395	396	0,25252525
	2	147	402	398	1,00502513
	3	148	398	397	0,25188917
	4	149	413	416	0,72115385
	5	150	422	421	0,23752969
	6	151	469	472	0,63559322
	7	152	414	414	0
	8	153	401	403	0,49627792
	9	154	397	398	0,25125628
	10	155	389	389	0
	11	156	394	395	0,25316456
	12	157	404	404	0
	13	158	393	392	0,25510204
	14	159	403	404	0,24752475
	15	160	403	401	0,49875312
	16	161	400	397	0,75566751
	17	162	402	400	0,5
	18	163	420	421	0,23752969
	19	164	427	429	0,46620047
	20	165	420	423	0,70921986
	21	166	437	440	0,68181818
	22	167	430	431	0,23201856
	23	168	433	436	0,68807339
	24	169	441	442	0,22624434

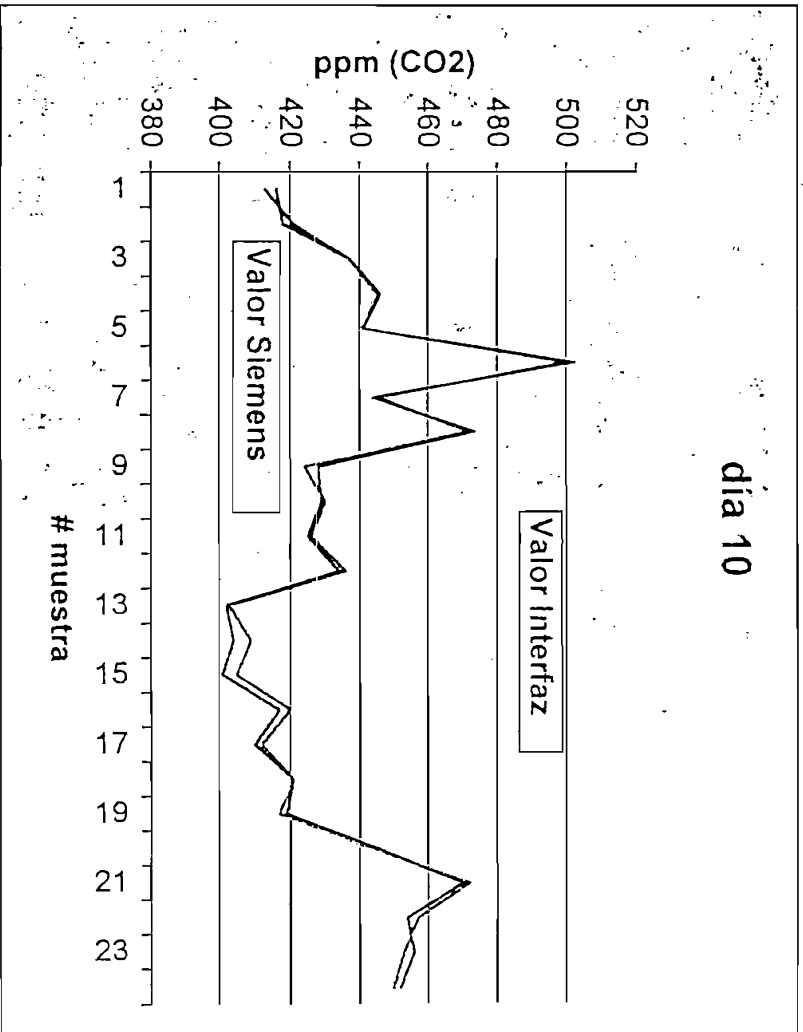


dia	# muestra	Valor	Valor	Error	
			Interfaz Siemens	%	
feb-05	1	194	431	433	0,46189376
	2	195	430	431	0,23201856
	3	196	426	427	0,23419204
	4	197	432	435	0,68965517
	5	198	440	441	0,22675737
	6	199	468	469	0,21321962
	7	200	455	456	0,21929825
	8	201	448	451	0,66518847
	9	202	441	444	0,67567568
	10	203	461	460	0,2173913
	11	204	455	456	0,21929825
	12	205	434	436	0,4587156
	13	206	421	423	0,47281324
	14	207	486	489	0,61349693
	15	208	405	407	0,49140049
	16	209	398	400	0,5
	17	210	392	395	0,75949367
	18	211	418	421	0,71258907
	19	212	411	412	0,24271845
	20	213	412	413	0,24213075
	21	214	421	422	0,23696682
	22	215	415	417	0,47961631
	23	216	413	413	0
	24	217	419	420	0,23809524

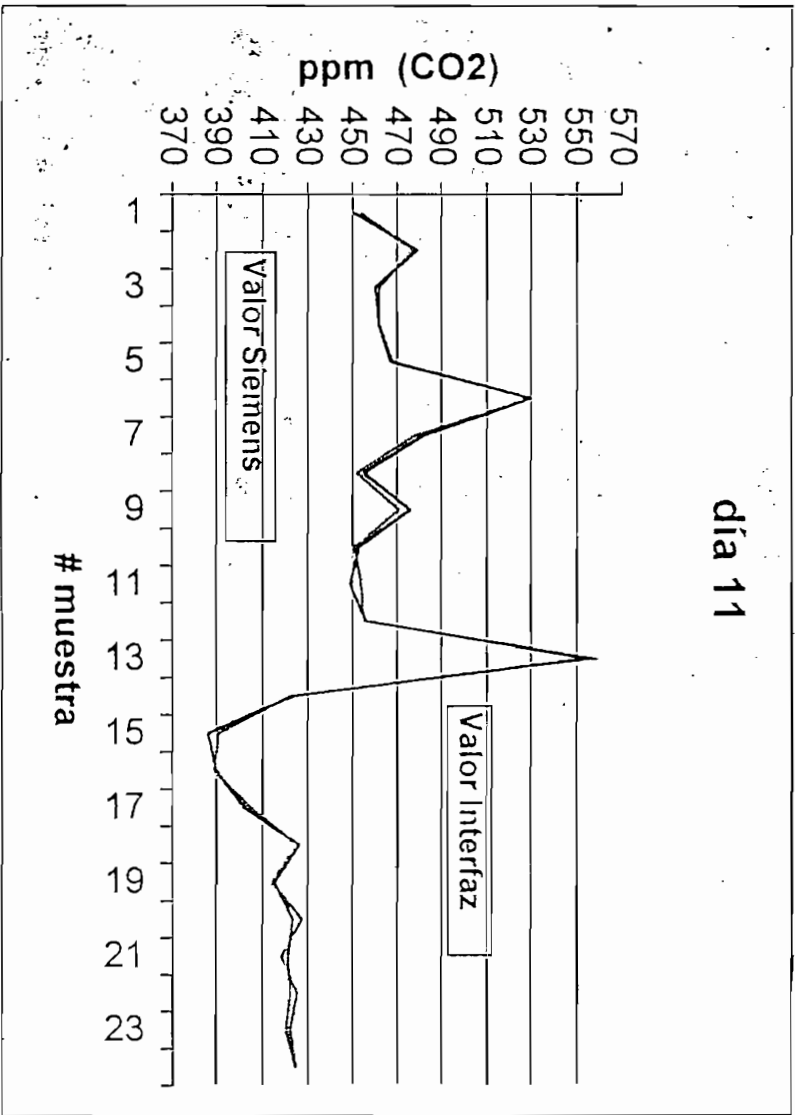




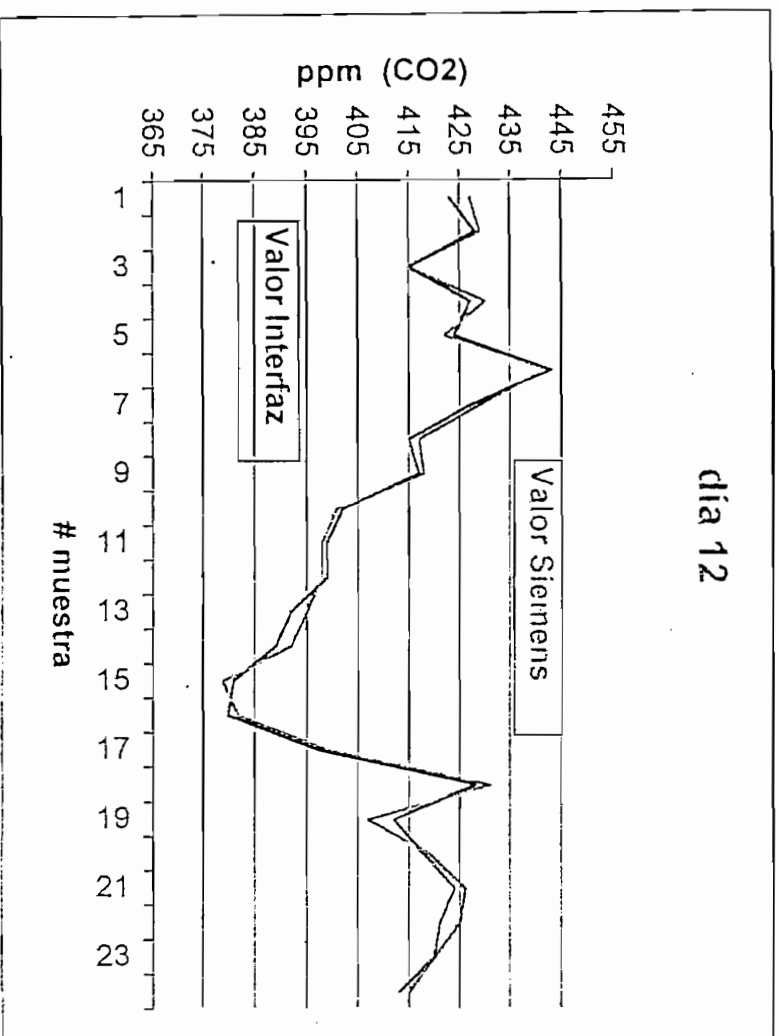
dia	#	Valor	Valor	Error	
	muestra	Interfaz	Siemens	%	
feb-06	1	218	416	413	0,72639225
	2	219	418	421	0,71258907
	3	220	437	437	0
	4	221	446	445	0,2247191
	5	222	441	441	0
	6	223	502	499	0,6012024
	7	224	444	446	0,44843049
	8	225	473	471	0,42462845
	9	226	428	424	0,94339623
	10	227	429	430	0,23255814
	11	228	425	426	0,23474178
	12	229	434	436	0,4587156
	13	230	402	403	0,24813896
	14	231	404	409	1,22249389
	15	232	401	405	0,98765432
	16	233	417	420	0,71428571
	17	234	410	412	0,48543689
	18	235	421	421	0
	19	236	419	417	0,47961631
	20	237	445	443	0,45146727
	21	238	470	472	0,42372881
	22	239	454	457	0,65645514
	23	240	456	453	0,66225166
	24	241	452	450	0,444444444



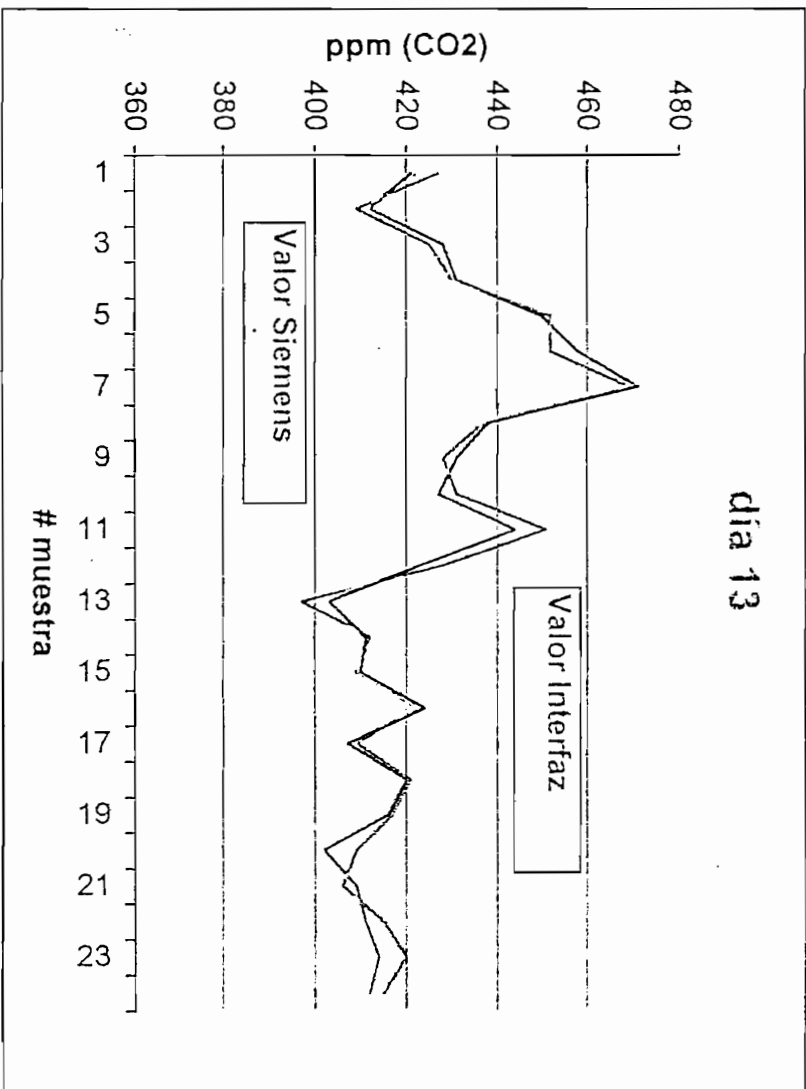
dia	# muestra	Valor Interfaz	Valor Siemens	Error %	
feb-07	1	242	451	454	0,66079295
	2	243	479	477	0,41928721
	3	244	460	462	0,43290043
	4	245	462	462	0
	5	246	467	468	0,21367521
	6	247	530	530	0
	7	248	482	478	0,83682008
	8	249	455	452	0,66371681
	9	250	476	471	1,06157113
	10	251	453	451	0,44345898
	11	252	449	454	1,10132159
	12	253	456	455	0,21978022
	13	254	554,88	558	0,55913978
	14	255	423	422	0,23696682
	15	256	386	391	1,27877238
	16	257	390	389	0,25706941
	17	258	402	405	0,74074074
	18	259	426	425	0,23529412
	19	260	415	414	0,24154589
	20	261	423	427	0,93676815
	21	262	421	418	0,71770335
	22	263	422	425	0,70588235
	23	264	420	422	0,47393365
	24	265	424	425	0,23529412



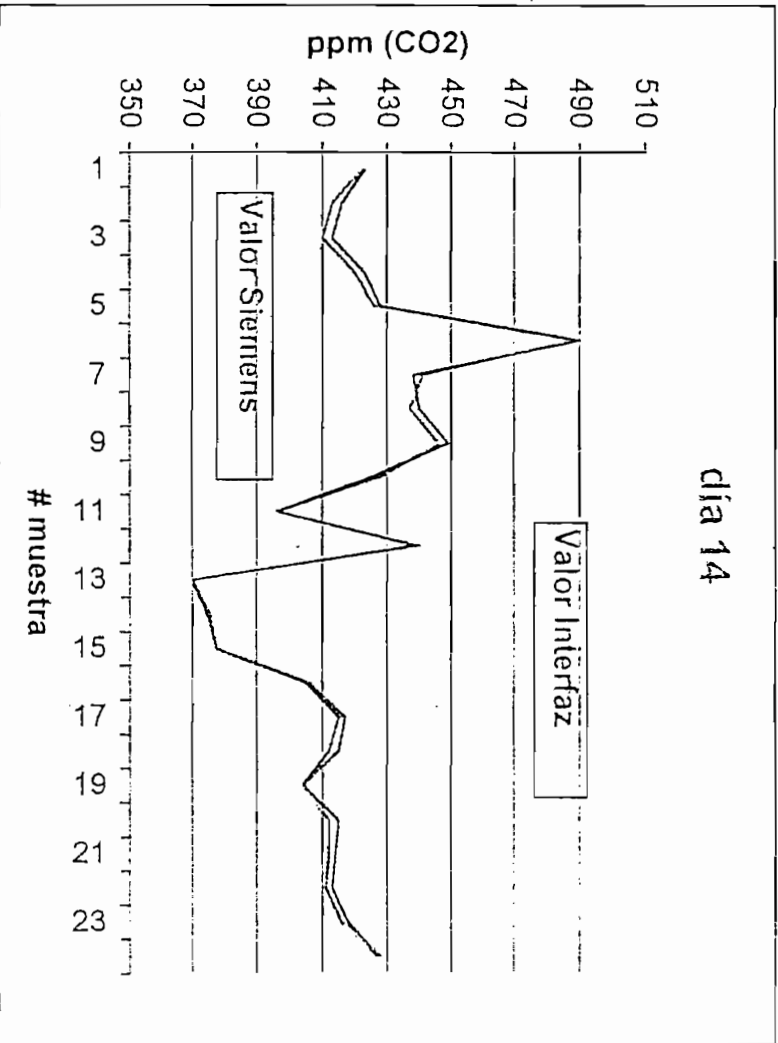
dia	# muestra	Valor Interfaz	Valor Siemens	Error %
feb-08	1	266	423	0,93676815
	2	267	428	0,23310023
	3	268	415	0
	4	269	427	0,69767442
	5	270	424	0,47393365
	6	271	443	0,22624434
	7	272	427	0,46620047
	8	273	415	0,47961631
	9	274	417	0,23923445
	10	275	402	0,24937656
	11	276	399	0,25125628
	12	277	399	0,25125628
	13	278	392	0,75949367
	14	279	389	0,76530612
	15	280	381	0,52770449
	16	281	380	0,52356021
	17	282	397	0,50125313
	18	283	428	0,69605568
	19	284	412	1,22850123
	20	285	418	0,23866348
	21	286	424	0,46948357
	22	287	421	0,94117647
	23	288	420	0
	24	289	413	0,48192771



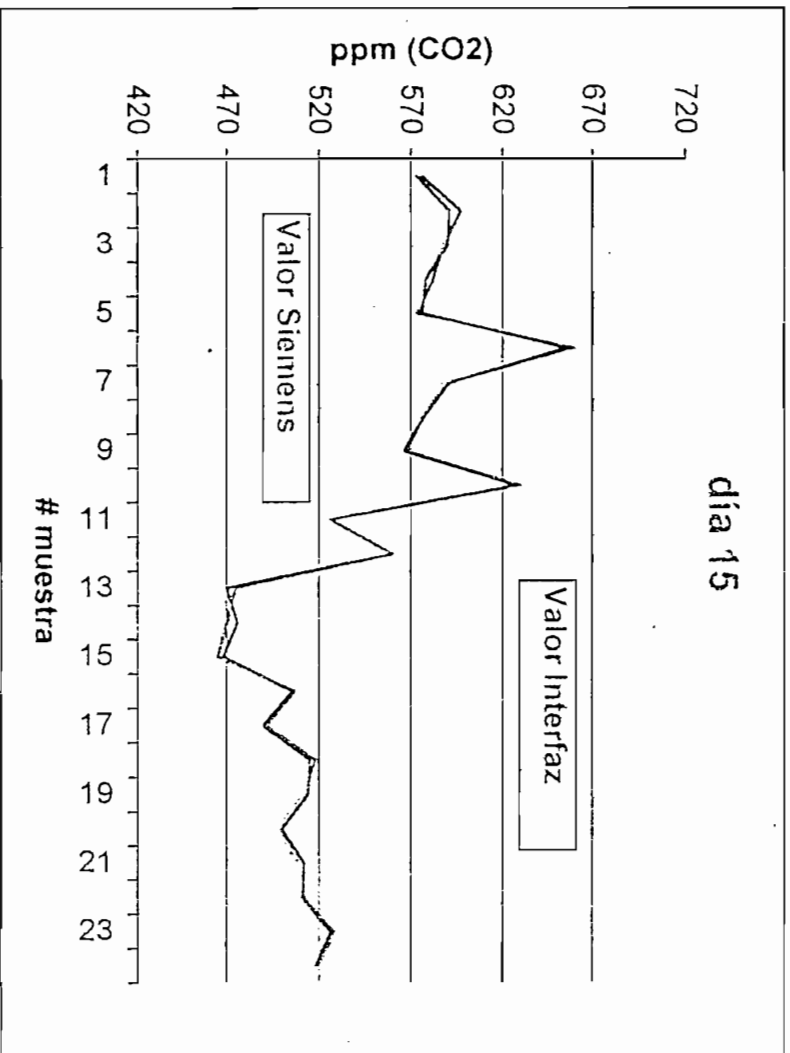
dia	# muestra	Valor Interfaz	Valor Siemens	Error %	
feb-09	1	290	421	427	1,40515222
	2	291	412	409	0,73349693
	3	292	428	425	0,70588235
	4	293	431	430	0,23255814
	5	294	450	452	0,44247788
	6	295	458	452	1,32743363
	7	296	471	469	0,42643923
	8	297	438	437	0,22883295
	9	298	431	428	0,70093458
	10	299	427	431	0,92807425
	11	300	444	451	1,55210643
	12	301	423	428	1,1682243
	13	302	403	397	1,51133501
	14	303	411	412	0,24271845
	15	304	410	409	0,24449878
	16	305	424	422	0,47393365
	17	306	407	409	0,48899756
	18	307	420	421	0,23752969
	19	308	416	417	0,23980815
	20	309	402	409	1,71149144
	21	310	409	406	0,73891626
	22	311	411	415	0,96385542
	23	312	414	420	1,42857143
	24	313	412	415	0,72289157



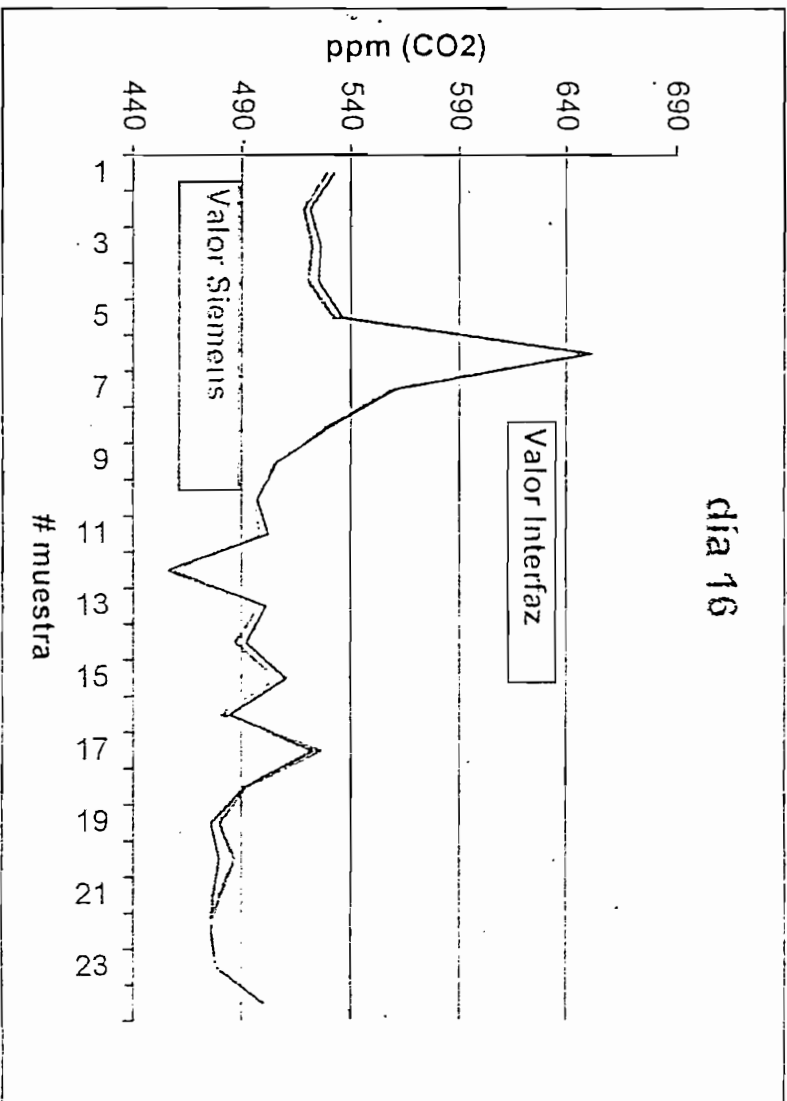
dia	# muestra	Valor	Valor Siemens	Error %	
feb-10	1	314	423	422	0,23696682
	2	315	416	413	0,72639225
	3	316	413	410	0,73170732
	4	317	423	420	0,71428571
	5	318	428	426	0,46948357
	6	319	490	488	0,40983607
	7	320	438	441	0,68027211
	8	321	440	437	0,68649886
	9	322	449	446	0,67264574
	10	323	425	428	0,70093458
	11	324	396	396	0
	12	325	439	440	0,22727273
	13	326	370	370	0
	14	327	375	376	0,26595745
	15	328	378	378	0
	16	329	405	406	0,24630542
	17	330	415	417	0,47961631
	18	331	412	415	0,72289157
	19	332	404	404	0
	20	333	415	412	0,72815534
	21	334	414	412	0,48543689
	22	335	413	411	0,486618
	23	336	418	416	0,48076923
	24	337	427	428	0,23364486



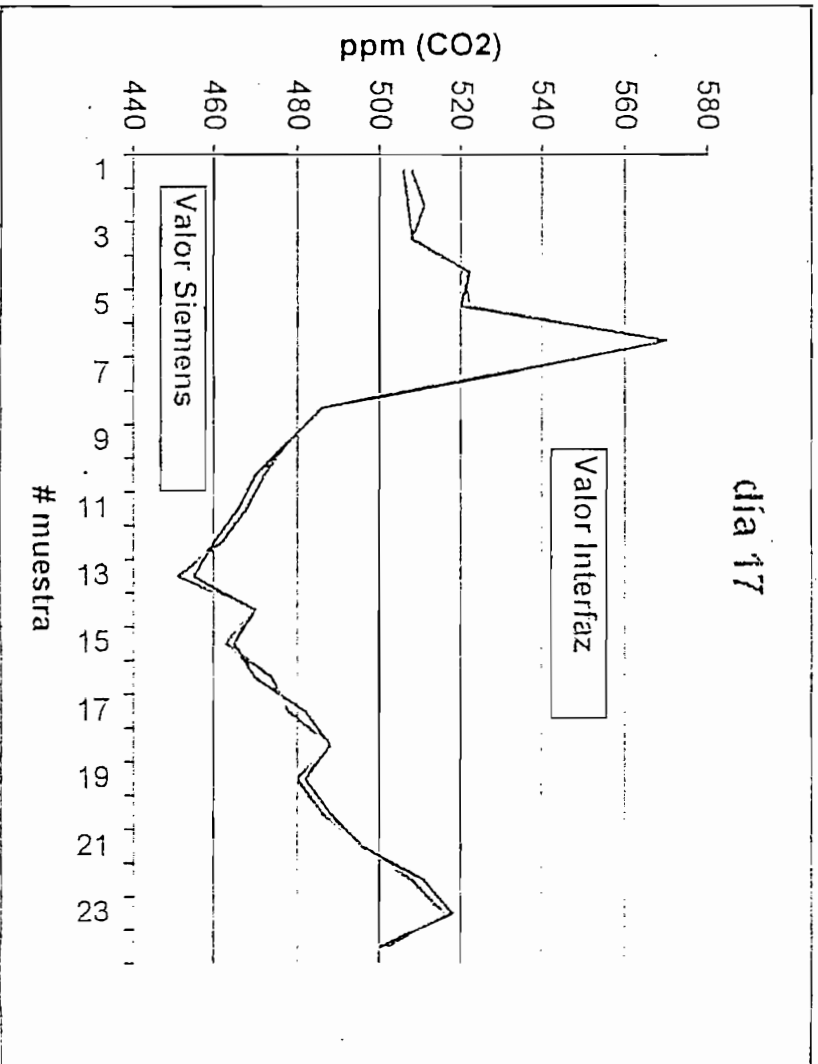
dia	# muestra	Valor Interfaz	Valor Siemens	Error %	
feb-19	1	338	573	576	0,52083333
	2	339	591	597	1,00502519
	3	340	590	588	0,34013605
	4	341	578	582	0,68728522
	5	342	576	573	0,52356021
	6	343	656	660	0,60606061
	7	344	591	590	0,16949153
	8	345	577	576	0,17361111
	9	346	566	568	0,35211268
	10	347	628	630	0,31746032
	11	348	526	526	0
	12	349	560	560	0
	13	350	470	475	1,05263158
	14	351	476	470	1,27659574
	15	352	468	465	0,64516129
	16	353	506	507	0,19723866
	17	354	490	492	0,40650407
	18	355	515	518	0,57915058
	19	356	514	512	0,390625
	20	357	500	498	0,40160643
	21	358	512	509	0,58939096
	22	359	511	511	0
	23	360	526	528	0,37878788
	24	361	518	520	0,38461538



dia	# muestra	Valor Interfaz	Valor Siemens	Error %
feb-20	1	362	532	0,56710775
	2	363	521	0,57915058
	3	364	526	0,76628352
	4	365	525	0,96153846
	5	366	536	0,7518797
	6	367	651	0,30816641
	7	368	560	0,35842294
	8	369	531	0,56818182
	9	370	506	0
	10	371	497	0,2016129
	11	372	502	0,80321285
	12	373	456	0,43668122
	13	374	501	0,60240964
	14	375	492	1,02669405
	15	376	510	0,79051383
	16	377	485	0,83160083
	17	378	522	0,76045627
	18	379	492	0
	19	380	476	0,83333333
	20	381	480	1,43737166
	21	382	477	0,625
	22	383	476	0,21052632
	23	384	478	0
	24	385	500	0,40160643

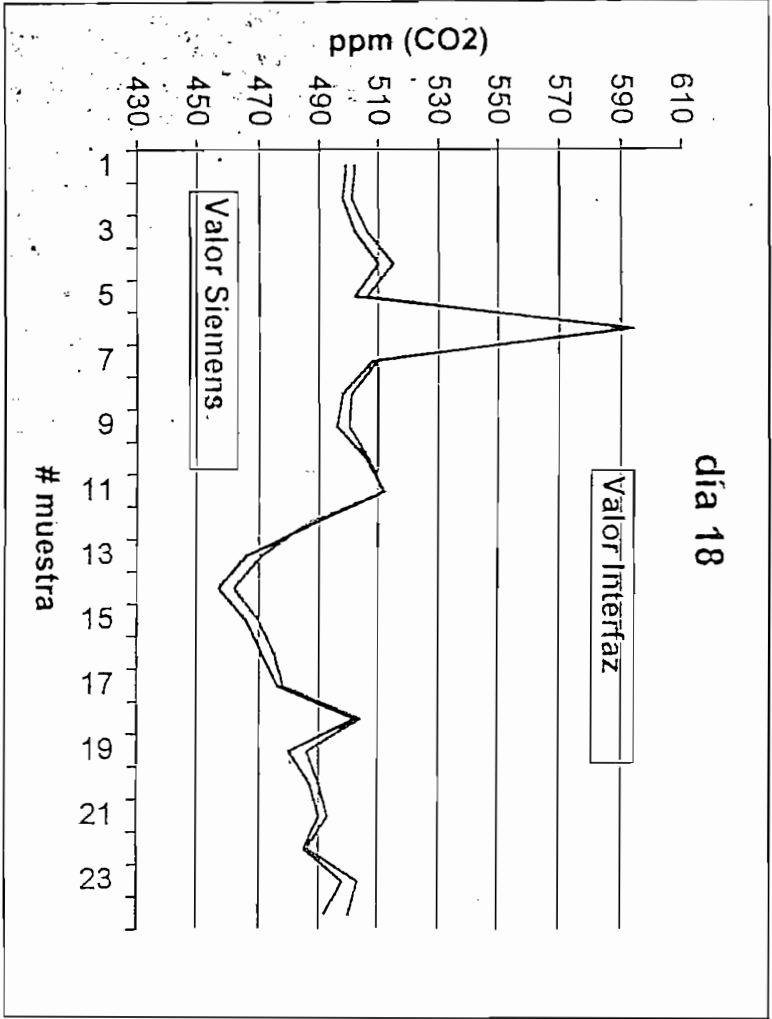


dia	# muestra	Valor Interfaz	Valor Siemens	Error %	
feb-22	1	386	506	508	0,39370079
	2	387	507	511	0,78277886
	3	388	508	508	0
	4	389	522	521	0,19193858
	5	390	520	522	0,38314176
	6	391	570	570	0
	7	392	530	526	0,76045627
	8	393	486	486	0
	9	394	478	478	0
	10	395	470	472	0,42372881
	11	396	466	468	0,42735043
	12	397	460	462	0,43290043
	13	398	455	451	0,88691796
	14	399	470	470	0
	15	400	465	463	0,43196544
	16	401	470	474	0,84388186
	17	402	482	478	0,83682008
	18	403	488	488	0
	19	404	482	480	0,41666667
	20	405	488	486	0,41152263
	21	406	496	496	0
	22	407	511	508	0,59055118
	23	408	518	516	0,3875969
	24	409	500	502	0,39840637

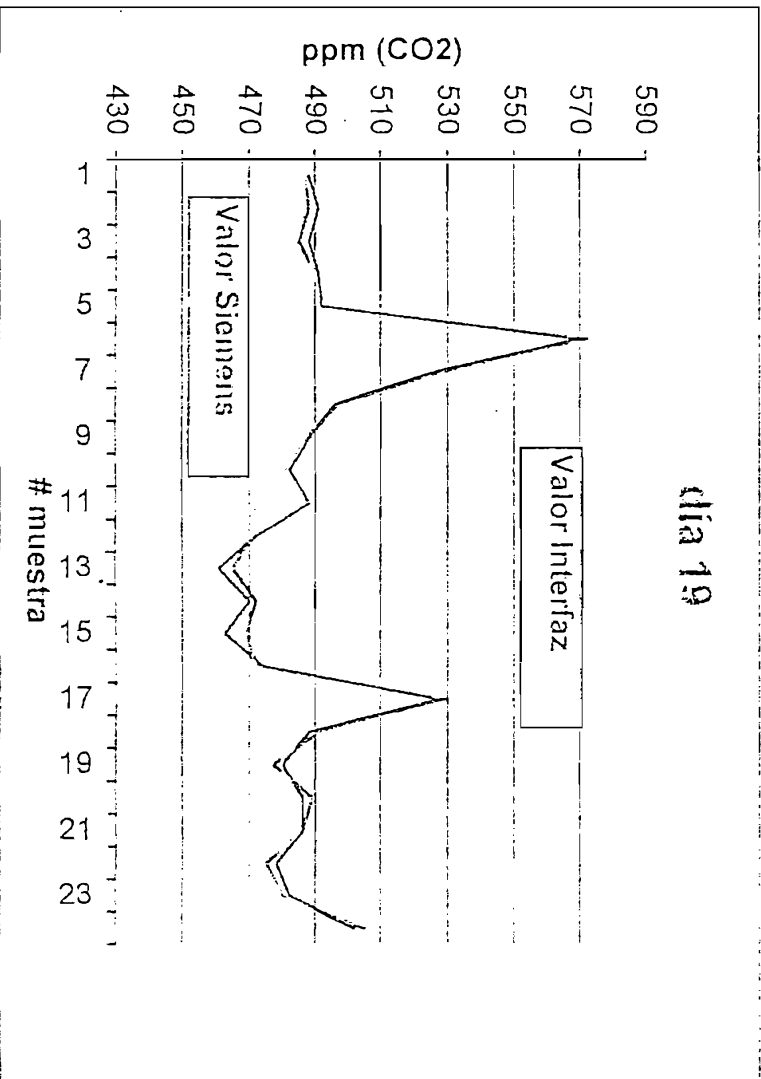




Valor	Valor	Error			
Valor	Interfaz Siemens	%			
#	muestra				
feb-23	1	410	499	502	0,59760956
	2	411	498	501	0,5988024
	3	412	502	506	0,79051383
	4	413	510	515	0,97087379
	5	414	502	506	0,79051383
	6	415	594	591	0,50761421
	7	416	508	510	0,39215686
	8	417	498	501	0,5988024
	9	418	496	500	0,8
	10	419	506	507	0,19723866
	11	420	512	512	0
	12	421	488	486	0,41152263
	13	422	466	471	1,06157113
	14	423	457	462	1,08225108
	15	424	466	470	0,85106383
	16	425	471	475	0,84210526
	17	426	476	478	0,41841004
	18	427	502	504	0,3968254
	19	428	480	486	1,2345679
	20	429	487	490	0,6122449
	21	430	490	493	0,60851927
	22	431	485	486	0,20576132
	23	432	498	503	0,99403579
	24	433	492	500	1,6



dia	# muestra	Valor Interfaz	Valor Siemens	Error %
feb-24	1	434	488	0.20533881
	2	435	491	0.6147541
	3	436	488	0.6185567
	4	437	491	0.20408163
	5	438	492	0
	6	439	570	0.34965035
	7	440	526	0.56710775
	8	441	496	0.20120724
	9	442	488	0
	10	443	482	0.20790021
	11	444	488	0
	12	445	472	0.21231423
	13	446	461	0.86021505
	14	447	470	0.42372881
	15	448	463	1.2793177
	16	449	474	0.42372881
	17	450	528	0.18903592
	18	451	488	0.61099796
	19	452	480	0.62893082
	20	453	486	0.61349693
	21	454	486	0
	22	455	473	0.63157895
	23	456	482	0.41666667
	24	457	502	0.59405941



**ANEXO B**

CPU 214 AC Power Supply, DC Inputs, Relay Outputs Data Sheet

Order Number: 6ES7 214-1BC01-0XB0	
<b>General Features</b>	
Physical size (L x W x D)	197 x 80 x 62 mm (7.76 x 3.15 x 2.44 in.)
Weight	0.5 kg (1.0 lbs.)
Power dissipation	9 W
User program size/Storage	2 Kwords/EEPROM
User data size/storage	2 Kwords/RAM
Data and I/O retention Supercap	190 hr typ. (120 hr minimum at 40° C)
Optional battery	200 days continuous usage
Local I/O <sup>1</sup>	14 inputs/10 outputs
Max. I/O expansion modules	7
Digital I/O supported	64 inputs/64 outputs
Analog I/O supported	16 inputs/16 outputs
Boolean execution speed	0.8 µs/instruction
Internal memory bits	256
Timers	128 timers
Counters	128 counters
High-speed counters	1 software (2 KHz max.) 2 hardware (7 KHz max. etc.)
TOD clock tolerance	6 minutes per month
Pulse outputs	Not recommended
Analog adjustments	2
Standards compliance	UL 508 CSA C22.2 142 FM Class I, Division 2 VDE 0160 compliant CE compliant
<b>Input Points</b>	
Input type (IEC 1131-2)	Type 1 sinking
ON state range	15-30 VDC, 4 mA minimum 35 VDC, 500 ms surge
ON state nominal	24 VDC, 7 mA
OFF state maximum	5 VDC, 1 mA
Maximum response time 10.0 to 11.5	0.2 ms to 8.7 ms selectable 0.2 ms default
10.6 to 11.5 as used by HSC1 and HSC2	30 µs typical / 70 µs max.
Optical isolation	500 VAC, 1 min
<b>Output Points</b>	
Output type	Relay, dry contact
Voltage range	5 to 30 VDC/250 VAC
Maximum load current	2 A/point, 8 A/common
Overcurrent surge	7 A with contacts closed
Isolation resistance	100 MΩ minimum (new)
Switching delay	10 ms maximum
Lifetime	10,000,000 mechanical 100,000 with rated load
Contact resistance	200 mΩ maximum (new)
Isolation coil to contact contact to contact (between open contacts)	1500 VAC, 1 min 750 VAC, 1 min
Short circuit protection	none
<b>Power Supply</b>	
Voltage/frequency range	85 to 264 VAC at 47 to 63 Hz
Input current	4.5 VA typical, CPU only 50 VA max. load
Holdup time	20 ms min. from 110 VAC
Inrush current	20 A peak at 264 VAC
Fusing (non-replaceable)	2 A, 250 V, slow blow
5 VDC current	340 mA for CPU 660 mA for expansion I/O
Isolated	Yes, Transformer, 1500 VAC, 1 min
<b>DC Sensor Supply</b>	
Voltage range	20.5 to 28.8 VDC
Ripple/noise (<10MHz)	1 V peak-to-peak maximum
24 VDC available current	250 mA
Short circuit current limit	< 600 mA
Isolated	No

<sup>1</sup> The CPU reserves 16 process-image input and 16 process-image output register points for local I/O.

Tabla B-1. CPU 214 AC Power Supply, DC Inputs, Relay Outputs Data Sheet

### Terminales de conexión del PLC S7-214 AC/DC/Relay

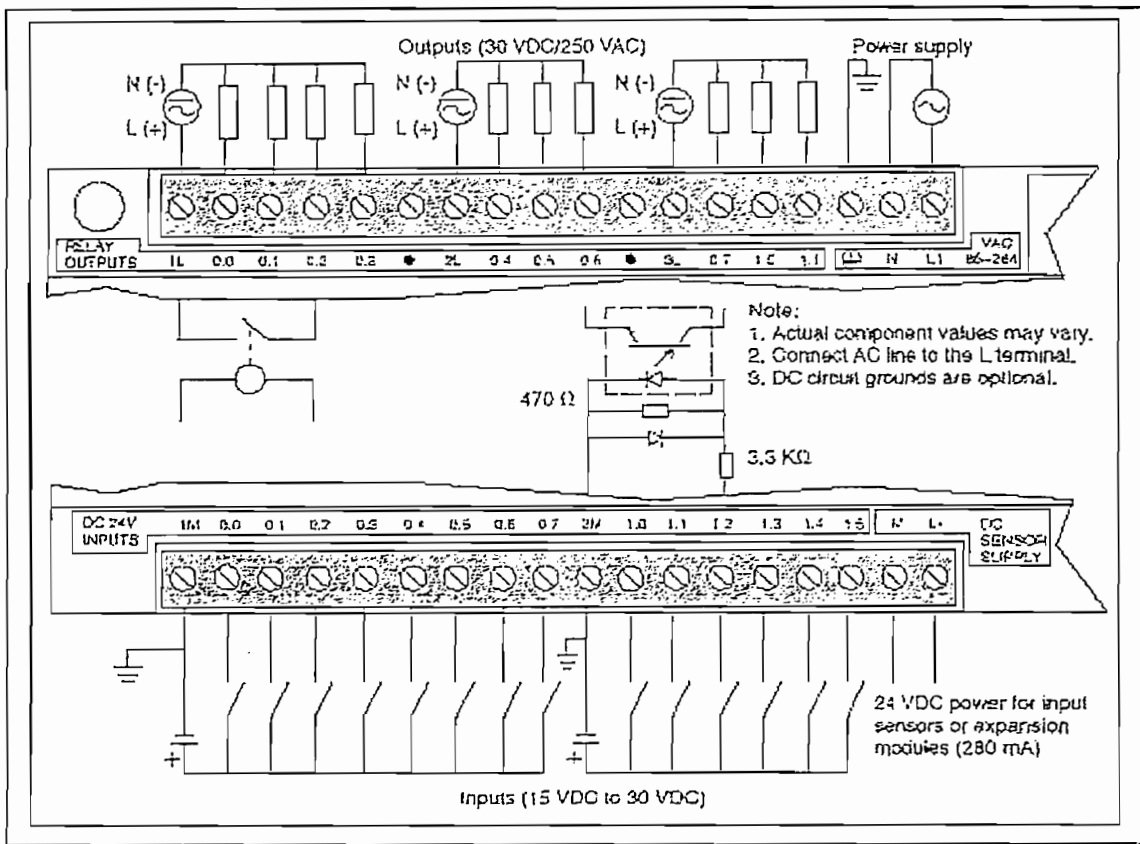


Figura B-1. Terminales de conexión del PLC S7-214 AC/DC/Relay

Hoja de datos: Módulo de ampliación EM 235, 3 entradas analógicas AE/1 salida analógica AA x 12 bits

Se puede acceder al potenciómetro de calibración y a los interruptores DIP de configuración a través de las rejillas de ventilación del módulo (Figura. B-2).

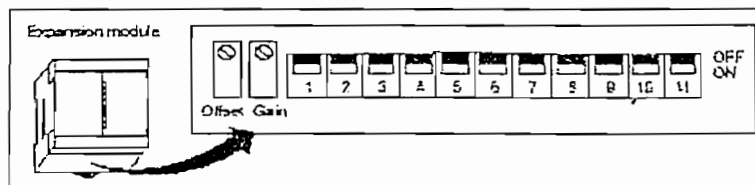


Figura B-2 Potenciómetro de calibración e interruptores DIP de configuración

Hoja de datos: Módulo de ampliación EM235, e entradas analógicas AE/1 salida analógica AA x 12 bits

Tabla B-3 Características del Módulo Analógico

<b>General Features</b>		<b>Input Points</b>	
Physical size (L x W x D)	90 x 80 x 62 mm (3.54 x 3.15 x 2.44 in.)	Input type	Differential
Weight	0.2 kg (0.4 lbs.)	Input impedance	— 10 k $\Omega$
Power dissipation	2 W	Input filter attenuation	-30dB @ 3.1 kHz
Points <sup>1</sup>	3 analog inputs 1 analog output	Maximum input voltage	30 V
Standards compliance	UL 508 CSA C22.2 142 FIM Class 1, Division 2 VDE 0160 compliant CE compliant	Maximum input current	32 mA
<b>Output Points</b>		Resolution	12 bit A/D converter
Signal range		Isolation	Non-isolated
Voltage output	$\pm$ 10 V	Analog-to-digital conversion time	< 250 $\mu$ sec
Current output	0 to 20 mA	Analog step response	1.5 ms to 95%
Resolution, full-range		Common mode voltage	Signal voltage plus common mode voltage, less than or equal to 12 V
Voltage	12 bits	Common mode rejection	40 dB, DC to 60 Hz
Current	11 bits	Data word format <sup>2</sup>	
Data word format <sup>2</sup>		Bipolar range <sup>3</sup>	-32000 to +32000
Bipolar range <sup>3</sup>	-32000 to +32000	Unipolar range <sup>2</sup>	0 to + 32000
Unipolar range <sup>2</sup>	0 to + 32000	<b>Current Requirements</b>	
Accuracy		5 VDC logic current	70 mA from Base Unit
Worst case, 0 to 60 $^{\circ}$ C		External power supply	60 mA, plus output current of 20 mA, from Base Unit or External Supply (24 VDC nominal, Class 2 or IEC Sensor Supply)
Voltage output	$\pm$ 2% of full-scale	<b>Indicator (LED), EXTP</b>	
Current output	$\pm$ 2% of full-scale	Power supply fault	Low voltage, on external 24 VDC
Typical, 25 $^{\circ}$ C			
Voltage output	$\pm$ 0.5% of full-scale		
Current output	$\pm$ 0.5% of full-scale		
Settling time			
Voltage output	100 $\mu$ s		
Current output	2 ms		
Maximum drive @ 24 V user supply			
Voltage output	5000Hz maximum		
Current output	500Hz maximum		

En el módulo analógico del PLC están previstas 4 entradas analógicas y 2 salidas analógicas.