



**UNIVERSIDAD DEL AZUAY**  
**FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA**  
**ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA**

**LABORATORIO REMOTO PARA PRÁCTICAS VIRTUALES DE  
AUTOMATIZACIÓN CON EL PLC SIMATIC S7-1200**

**TRABAJO DE GRADUACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO  
DE INGENIERO ELECTRÓNICO**

**AUTORES:**

**DIEGO XAVIER ALVARADO TORAL  
JOSÉ DANIEL SÁNCHEZ ZABALA**

**DIRECTOR:**

**ING. HUGO MARCELO TORRES SALAMEA**

**CUENCA – ECUADOR**

**2011**

## **DEDICATORIA**

Todo el esfuerzo, tiempo y dedicación con la cual se realizó esta tesis se la dedico a mi Madre Nancy y a mi Hermana Nancy, quienes han sido un apoyo moral constante durante todo mi vida y principalmente en el tiempo de realización de esta tesis. A mi Padre Hugo, quien aparte de su constante e importante apoyo moral, me ha brindado todos los medios para la culminación de mis estudios y en especial para el desarrollo de la presente tesis. Por último, pero no menos importante, de una manera muy particular y especial se la dedico a DIOS, quien me ha brindado todas las fuerzas espirituales, anímicas e intelectuales sin las cuales nunca hubiera culminado este trabajo.

A todos los mencionados, les agradezco profundamente por todo, muchas gracias.

*Diego Xavier Alvarado Toral*

## **DEDICATORIA**

Con todo mi cariño dedico este trabajo y logro profesional a mi esposa e hijos, por ser la fuente de mi inspiración para actuar con responsabilidad y compromiso, por nutrir con amor mi espíritu y por la paciencia al compartir el esfuerzo de largas jornadas de trabajo. A mi madre y hermanos agradezco el acompañarme en esta etapa de mi vida, y de manera muy especial deseo plasmar mi gratitud a mi padre y amigo por brindarme su apoyo y confianza, por compartir su ejemplo y sabiduría que forja en mí, seguridad, lealtad, y sensatez, representando el pilar fundamental de mi ser y eje de mi vida.

Agradezco a mi Dios espiritual y de corazón a toda mi familia, dedicando todo el esfuerzo a mis abuelitos, por la acogida incondicional y entrega de su cariño más sincero.

*José Daniel Sánchez Zabala*

## **AGRADECIMIENTOS**

De manera especial agradecemos al Ing. Hugo Torres Salamea, quien dirigió este proyecto con gran voluntad y paciencia, a los profesores miembros del tribunal Ing. Leonel Pérez y Lcdo. Leopoldo Vázquez por su cooperación y apoyo desinteresado, y de igual manera a los profesores de la Escuela de Ingeniería Electrónica que compartieron sus conocimientos a lo largo de la carrera. Por otra parte agradecemos la gentileza del Ing. Manuel Sarmiento e Ing. Christian Beltrán representantes de la empresa CENELSUR Cia. Ltda., y al Ing. Santiago Orellana representante de National Instruments en Cuenca, por su inmenso aporte en el desarrollo de este proyecto.

*Diego Xavier Alvarado Toral*

*José Daniel Sánchez Zabala*

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

Dedicatoria.....	ii
Agradecimientos.....	iv
Índice de Contenidos.....	v
Índice de Figuras.....	ix
Índice de Tablas.....	xiii
Índice de Anexos.....	xiv
Resumen.....	xv
Abstract.....	xvi
Introducción.....	1

### **CAPÍTULO 1: DISEÑO Y ESTRUCTURA DEL LABORATORIO REMOTO**

Introducción.....	3
1.1 Origen del proyecto.....	3
1.2 Justificación y motivación.....	5
1.3 Diseño.....	7
1.4 Arquitectura del sistema.....	10
1.4.1 Hardware de control específico.....	11
1.4.2 Servidor.....	12
1.4.2.1 Servidor PLC.....	12
1.4.2.2 Servidor y control web.....	13
1.4.3 Cliente.....	14
1.5 Etapas del desarrollo del laboratorio.....	14

### **CAPÍTULO 2: ETAPA 1. PROGRAMACIÓN DEL PLC SIMATIC S7-1200 DE SIEMENS Y ESTRUCTURACIÓN DE LA RED PROFINET**

Introducción.....	17
2.1 Controlador lógico programable (PLC) Simatic S7-1200.....	18
2.1.1 Introducción.....	18
2.1.2 Características físicas.....	20
2.2 Tareas en cada ciclo de la CPU del Simatic S7-1200.....	21
2.3 Estados operativos de la CPU del Simatic S7-1200.....	22
2.4 Áreas de memoria, direccionamiento y tipos de datos.....	23

2.4.1 Áreas de memoria y direccionamiento.....	23
2.4.2 Tipos de datos.....	27
2.5 Ejecución del programa de usuario.....	28
2.6 Software de programación STEP 7 Basic.....	30
2.6.1 Introducción.....	30
2.6.2 Funciones básicas.....	32
2.6.3 Programación estructurada.....	36
2.6.4 Conexión online con el PLC.....	37
2.6.5 Funciones especiales del PLC S7-1200 configuradas desde el STEP 7 Basic.....	39
2.7 Conexión y configuración de la red PROFINET.....	47
2.7.1 Interfaz PROFINET.....	47
2.7.2 Instrucciones PROFINET (bloques T).....	49
2.7.3 Comunicación entre dispositivos.....	50
2.7.4 Comunicación entre PLCs S7-1200.....	52

### **CAPÍTULO 3: ETAPA 2. COMUNICACIÓN ENTRE EL PLC S7-1200 Y EL SISTEMA SCADA**

Introducción.....	55
3.1 Servidor OPC.....	56
3.1.1 Introducción.....	56
3.1.2 Tecnología OLE.....	56
3.1.3 Comunicación OPC.....	56
3.1.4 Tipos de Servidores OPCs.....	57
3.2 PC ACCESS: Servidor OPC de Siemens.....	58
3.2.1 Introducción.....	58
3.2.2 Configuración del Step 7 Basic.....	59
3.2.3 Configuración del Servidor PC Access.....	62
3.3 Cliente OPC.....	68
3.3.1 Introducción.....	68
3.3.2 Sistema SCADA.....	68
3.3.3 Configuración de LabVIEW como cliente OPC.....	72
3.4 Desarrollo del Sistema SCADA.....	78

### **CAPÍTULO 4: ETAPA 3. ESTRUCTURACIÓN DE LA RED Y DISEÑO DEL SOFTWARE DE ACCESO, CONTROL Y GESTIÓN DEL LABORATORIO REMOTO**

Introducción.....	82
4.1 Generalidades del diseño del software.....	82
4.1.1 Sistema de acceso.....	83

4.1.2 Sistema de reservaciones.....	84
4.1.3 Sistema de gestión administrativa.....	87
4.1.4 Base de datos.....	89
4.1.5 Sistema de control.....	89
4.2 Estructuración y topología de la red.....	91
4.3 Diseño del software de acceso, control y gestión del laboratorio remoto..	95
4.3.1 Módulos del software de acceso, control y gestión del laboratorio..	97
4.3.1.1 Aplicación web.....	97
4.3.1.2 Software de control.....	100
4.3.1.3 Interfaz del laboratorio.....	103
4.3.1.4 Módulo SCADA.....	105
4.3.1.5 Visor de las cámaras.....	107
4.3.2 Interfaz de acceso remoto. Configuraciones del software y servicios necesarios para la conexión remota.....	108
4.3.3 Arquitectura general del sistema y funcionamiento global del laboratorio remoto.....	110

## **CAPÍTULO 5: SEGURIDADES Y CONSIDERACIONES FINALES. PRUEBAS GLOBALES DEL SISTEMA, Y PRESENTACIÓN DE RESULTADOS**

Introducción.....	115
5.1 Seguridad y consideraciones finales.....	115
5.2 Pruebas globales del sistema y presentación de resultados.....	118
5.2.1 Estructura de red del laboratorio remoto.....	119
5.2.2 Practicas demostrativas.....	120
5.2.3 Programación del PLC, configuración del servidor OPC y desarrollo del sistema SCADA.....	123
5.2.3.1 Programación del PLC.....	123
5.2.3.2 Configuración del servidor OPC.....	124
5.2.3.3 Desarrollo del Sistema SCADA.....	124
5.2.3.4 Sistemas SCADA de las prácticas demostrativas.....	126
5.2.4 Ejecución de la aplicación web y de las aplicaciones del software de control del laboratorio.....	128
5.2.5 Interfaz web del laboratorio.....	131
5.2.5.1 Ingreso a la interfaz web del laboratorio.....	131
5.2.5.2 Página principal de la interfaz web.....	133
5.2.5.3 Reservaciones.....	134
5.2.5.4 Opciones administrativas.....	136
5.2.5.5 Explicación de prácticas.....	140
5.2.5.6 Instrucciones de uso.....	140
5.2.5.7 Ingreso al laboratorio.....	140
5.2.6 Interfaz de acceso remoto al laboratorio.....	141

5.2.7 Terminación de la sesión .....	147
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	148
BIBLIOGRAFÍA .....	154
ANEXOS .....	157

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.1:</b> Diagrama de solución de hardware – software del laboratorio remoto.....	10
<b>Figura 1.2:</b> Diagrama de la arquitectura del laboratorio remoto.....	11
<b>Figura 1.3:</b> Esquema de la estructura general del laboratorio remoto.....	15
<b>Figura 2.1:</b> Controlador Lógico Programable (PLC) Simatic S7-1200.....	19
<b>Figura 2.2:</b> Panel de control de la CPU del Simatic S7-1200.....	23
<b>Figura 2.3:</b> Direccionamiento "byte.bit" en las áreas de memoria del S7-1200.....	26
<b>Figura 2.4:</b> Vista del portal del software STEP 7 Basic de Siemens.....	31
<b>Figura 2.5:</b> Vista del proyecto del software STEP 7 Basic de Siemens.....	32
<b>Figura 2.6:</b> Tabla de variables en la instrucción, contacto en la rama.....	33
<b>Figura 2.7:</b> Detección de CPU conectado a el equipo.....	34
<b>Figura 2.8:</b> Cuadro de diálogo de selección del tipo de arranque en el STEP 7 Basic.....	34
<b>Figura 2.9:</b> Configuración de la direcciones IP en el puerto PROFINET de la CPU.....	35
<b>Figura 2.10:</b> Vista preliminar de la carga de programa de usuario en la CPU.....	35
<b>Figura 2.11:</b> Esquema de programación estructurada.....	37
<b>Figura 2.12:</b> Panel de control de la CPU, para el estado de operación.....	37
<b>Figura 2.13:</b> Tabla de observación del software STEP 7 Basic de Siemens.....	38
<b>Figura 2.14:</b> Estado en el editor KOP, conexión online con la CPU, software STEP 7 Basic de Siemens.....	39
<b>Figura 2.15:</b> Gráfica de regulación de una variable de temperatura, controlado por PID.....	41
<b>Figura 2.16:</b> Respuesta del proceso regulado a un escalón, en modo autoajuste del PID.....	43
<b>Figura 2.17:</b> Gráfica de evolución de la curva de regulación PID en la "Puesta en servicio".....	44
<b>Figura 2.18:</b> Ventana de configuración de parámetros PID, en el STEP7 Basic.....	45
<b>Figura 2.19:</b> Parámetros de regulación del objeto tecnológico PID del STEP 7 Basic.....	46
<b>Figura 2.20:</b> Programa de transferencia de datos entre el bloque del PID y el bloque DB1.....	46
<b>Figura 2.21:</b> Comunicación directa entre programador y CPU, y entre CPUs.....	47
<b>Figura 2.22:</b> Comunicación de red entre programador CPUs y HMI. 1) Switch Siemens.....	48
<b>Figura 2.23:</b> Instrucciones TSEND_C y TRCV_C, utilizadas para enviar y	

recibir datos.....	50
<b>Figura 2.24:</b> Interfaz de configuración de los bloques de transmisión.....	50
<b>Figura 2.25:</b> Configuración de la dirección IP en una CPU Simatic S7-1200.....	51
<b>Figura 2.26:</b> Esquema de la red PROFINET del laboratorio remoto.....	54
<b>Figura 3.1:</b> Esquema básico de la Etapa 2 del diseño del laboratorio remoto.....	55
<b>Figura 3.2:</b> Arquitectura OPC cliente / servidor.....	57
<b>Figura 3.3:</b> Esquema del enlace de comunicación de un sistema SCADA.....	57
<b>Figura 3.4:</b> Parámetros para crear el bloque de datos DB1 en el software STEP 7 Basic.....	60
<b>Figura 3.5:</b> Asignación de variables “tags” en el proyecto del STEP 7 Basic.....	60
<b>Figura 3.6:</b> Supervisión de variables “tags” en la tabla de observación del STEP 7 Basic.....	60
<b>Figura 3.7:</b> Cuadro de diálogo para crear nuevo proyecto OPC en Servidor OPC PC Access.....	63
<b>Figura 3.8:</b> Configuración de las propiedades del nuevo PLC en Servidor OPC PC Access.....	64
<b>Figura 3.9:</b> Cuadro de diálogo para crear nuevo ítem (variable) en Servidor OPC PC Access.....	65
<b>Figura 3.10:</b> Ítems del S7-1200_PL1, en la aplicación del diseño del laboratorio remoto.....	65
<b>Figura 3.11:</b> Cuadro de diálogo para guardar el proyecto OPC en Servidor OPC PC Access.....	67
<b>Figura 3.12:</b> Selección de ítems a cliente de prueba en Servidor OPC PC Access.....	67
<b>Figura 3.13:</b> Supervisión de los ítems en cliente de prueba en Servidor OPC PC Access.....	68
<b>Figura 3.14:</b> Creación de Nuevo Servidor I/O en un proyecto de LabVIEW.....	73
<b>Figura 3.15:</b> Configuración del cliente OPC en LabVIEW.....	73
<b>Figura 3.16:</b> Ventana para crear las variables compartidas, dentro de la librería.....	74
<b>Figura 3.17:</b> Ventana para crear variables compartidas a partir de las etiquetas publicadas por el Servidor OPC.....	75
<b>Figura 3.18:</b> Librería de variables compartidas para el sistema SCADA.....	76
<b>Figura 3.19:</b> Ventana de propiedades de las variables compartidas.....	76
<b>Figura 3.20:</b> Ventana del NI Distributed System Manager en LabVIEW.....	77
<b>Figura 3.21:</b> Aplicación de “Data Binding Front Panel”, y “Shared Variable”.....	79
<b>Figura 3.22:</b> Detención del Servidor OPC en el Distributed System Manager en LabVIEW.....	80
<b>Figura 3.23:</b> Panel frontal del sistema SCADA de una práctica demostrativa del diseño del laboratorio remoto.....	81

<b>Figura 4.1:</b> Modelo de la tabla de reservaciones.....	85
<b>Figura 4.2:</b> Modelo del registro de acceso al laboratorio.....	87
<b>Figura 4.3:</b> Modelo del registro de acceso al laboratorio.....	88
<b>Figura 4.4:</b> Estructura y topología de la red del laboratorio remoto.....	92
<b>Figura 4.5:</b> Esquema del software de acceso, control y gestión del laboratorio remoto.....	95
<b>Figura 4.6</b> Diagrama de estados o fases del laboratorio.....	96
<b>Figura 4.7:</b> Esquema del software de acceso, control y gestión del laboratorio remoto.....	97
<b>Figura 4.8:</b> Imagen de la interfaz del Módulo de Lógica 1.....	102
<b>Figura 4.9:</b> Imagen de la ventana “Laboratorio” de la Interfaz del Laboratorio.....	104
<b>Figura 4.10:</b> Imagen de la ventana “Configuración” de la Interfaz del Laboratorio.....	105
<b>Figura 4.11:</b> Arquitectura general del laboratorio remoto.....	111
<b>Figura 5.1:</b> Esquema de red de comunicación Usuario – Laboratorio Remoto.....	119
<b>Figura 5.2:</b> Esquema de red, utilizado para la demostración del funcionamiento del laboratorio.....	120
<b>Figura 5.3:</b> Imagen de la maqueta de la práctica demostrativa del “control de temperatura y llenado de un tanque de agua”.....	121
<b>Figura 5.4:</b> Diagrama esquemático con ubicación de las partes principales del equipo EPC.....	122
<b>Figura 5.5:</b> Equipo Entrenador de Planta de Control.....	122
<b>Figura 5.6:</b> Interfaz del software STEP7 para la programación de los PLC S7-1200.....	123
<b>Figura 5.7:</b> Interfaz del Servidor OPC “PC Access” con las configuraciones de variables de cada PLC utilizado.....	124
<b>Figura 5.8:</b> Módulo SCADA, basado en un proyecto de LabVIEW.....	125
<b>Figura 5.9:</b> Deployación de las variables compartidas en el proyecto de LabVIEW.....	126
<b>Figura 5.10:</b> Panel frontal del sistema SCADA, para control y monitoreo de la práctica demostrativa realizada en el Entrenador de Planta de Control (EPC).....	127
<b>Figura 5.11:</b> Panel frontal del sistema SCADA, para control y monitoreo de la práctica demostrativa realizada sobre la maqueta de invernadero.....	128
<b>Figura 5.12:</b> Interfaz de la Aplicación del Módulo de Lógica 1 del Software de Control, en el estado “INACTIVO” del Laboratorio.....	129
<b>Figura 5.13:</b> Interfaz de la aplicación del Módulo de Lógica 2 del software de control (Interfaz del Laboratorio), en el estado “INACTIVO” del Laboratorio.....	129
<b>Figura 5.14:</b> Cuadro de diálogo de la Interfaz del Laboratorio para la adición/modificación/eliminación de los SCADA de las prácticas.....	130
<b>Figura 5.15:</b> Página web inicial del laboratorio remoto.....	132

<b>Figura 5.16:</b> Autenticación inicial de usuarios en la página web del laboratorio remoto.....	132
<b>Figura 5.17:</b> Página principal de la interfaz web del laboratorio, para el administrador.....	133
<b>Figura 5.18:</b> Página principal de la interfaz web del laboratorio, para los profesores.....	133
<b>Figura 5.19:</b> Página principal de la interfaz web del laboratorio, para los alumnos.....	134
<b>Figura 5.20:</b> Página web del sistema de reservaciones del laboratorio remoto para el administrador.....	135
<b>Figura 5.21:</b> Página web del sistema de reservaciones del laboratorio remoto para un alumno.....	135
<b>Figura 5.22:</b> Página web para el registro de nuevos usuarios a la base de datos del laboratorio.....	137
<b>Figura 5.23:</b> Página web de datos de los usuarios, con la propiedad de visualizar datos.....	137
<b>Figura 5.24:</b> Página web de Datos de Usuarios, con propiedad de modificar datos.....	138
<b>Figura 5.25:</b> Página web de registro de acceso al laboratorio, para el administrador.....	139
<b>Figura 5.26:</b> Página web de Datos Personales propios de cada usuario.....	139
<b>Figura 5.27:</b> Página web de la explicación de las prácticas que se pueden realizar.....	140
<b>Figura 5.28:</b> Página web de acceso al laboratorio.....	141
<b>Figura 5.29:</b> Interfaz de acceso remoto al laboratorio, a través de un navegador web.....	142
<b>Figura 5.30:</b> Interfaz inicial del TightVNC Viewer.....	143
<b>Figura 5.31:</b> Interfaz de acceso remoto al laboratorio inicial, con la interfaz del laboratorio es su apariencia maximizada.....	143
<b>Figura 5.32:</b> Opción de transferencia de archivos del TightVNC Viewer en la Interfaz de Acceso Remoto al Laboratorio.....	144
<b>Figura 5.33:</b> Programación de los PLC, utilizando la interfaz de acceso remoto y la interfaz del laboratorio minimizada.....	144
<b>Figura 5.34:</b> Monitoreo y control del SCADA de una práctica junto con el visor de la cámara IP, utilizando la interfaz de acceso remoto.....	145
<b>Figura 5.35:</b> Uso de todas las funciones del laboratorio en conjunto acomodadas a la pantalla, utilizando la interfaz de acceso remoto.....	145
<b>Figura 5.36:</b> Ejemplo del reporte generado de un SCADA.....	146

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 2.1:</b> Cuadro resumen de las características de las CPUs Simatic S7-1200 .....	20
<b>Tabla 2.2:</b> Módulos de señales (SM) y signal board (SB) del Simatic S7-1200 .....	21
<b>Tabla 2.3:</b> Detalle de las capacidades de la memoria de la CPU Simatic S7-1200 .....	25
<b>Tabla 2.4:</b> Detalle de las áreas de memoria de la CPU Simatic S7-1200 .....	26
<b>Tabla 2.5:</b> Estructura de direccionamiento de variables en la CPU S7-1200 ..	27
<b>Tabla 2.6:</b> Tabla de los tipos de datos simples, soportados por la CPU Simatic S7-1200 .....	28
<b>Tabla 2.7:</b> Tabla de instrucciones de conversión de formato numérico BCD ..	28
<b>Tabla 2.8:</b> Pasos para configurar las conexiones de red lógicas entre dos CPUs .....	53

## ÍNDICE DE ANEXOS

<b>ANEXO 1:</b> Diagrama de cableado del PLC S7-1200.....	157
<b>ANEXO 2:</b> Código de programación del PLC S7-1200, para monitoreo y control de temperatura de un invernadero y llenado de un tanque de agua.....	158
<b>ANEXO 3:</b> Diagrama de topología de la red del laboratorio remoto.....	161
<b>ANEXO 4:</b> Tabla de direccionamiento IP, y tablas de asignación de puertos de los conmutadores.....	162
<b>ANEXO 5:</b> Lista de hardware y software recomendado para la instalación y configuración del laboratorio remoto.....	163

300911  
Comunicación

## RESUMEN

### LABORATORIO REMOTO PARA PRÁCTICAS VIRTUALES DE AUTOMATIZACIÓN CON EL PLC SIMATIC S7-1200

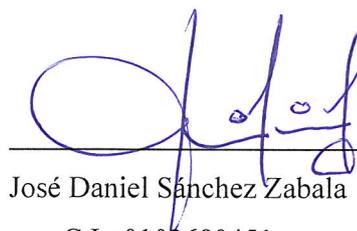
El diseño de un sistema de Laboratorio Remoto para realizar prácticas virtuales de control y automatización de procesos, en la Escuela de Ingeniería Electrónica, se estructuró de la siguiente manera: un sistema de acceso a través de Internet donde los estudiantes y profesores pueden programar el PLC Simatic S7-1200 de Siemens, monitorear y controlar las prácticas a través de sistemas SCADA desarrolladas en LabVIEW. Además, el sistema permite administrar la seguridad y las sesiones de trabajo.

Como resultado de la investigación el diseño del Laboratorio Remoto está listo para su implementación. Este proyecto puede emplearse para controlar otros tipos de plataformas como microcontroladores, sistemas robóticos, entre otros.



Diego Xavier Alvarado Toral

C.I.: 0104443262



José Daniel Sánchez Zabala

C.I.: 0102680451



Ing. Hugo Marcelo Torres Salamea

DIRECTOR

300911  
Emanuel

## ABSTRACT

### REMOTE LABORATORY FOR VIRTUAL AUTOMATION PRACTICES WITH SIMATIC S7-1200 PLC

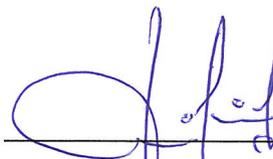
The design of Remote Laboratory in order to develop virtual control practices within teaching area at Electronic Engineering School was structured in the following way: an Internet based remote system let students and teachers to program Siemens' Simatic S7-1200 PLC, and the applications functioning controlled through LabVIEW programmed SCADA systems. Also the system is able to manage the security and organize working sessions.

As a result of this research a full functionally Remote System, ready to be implemented was designed. This project could result useful to control another platformsuch as: microcontrollers, robotics system, among others.



Diego Xavier Alvarado Toral

C.I.: 0104443262



José Daniel Sánchez Zabala

C.I.: 0102680451



Ing. Hugo Marcelo Torres Salamea

DIRECTOR

Alvarado Toral Diego Xavier  
Sánchez Zabala José Daniel  
Torres Salamea Hugo Marcelo, Ing.  
Septiembre, 2011

## **LABORATORIO REMOTO PARA PRÁCTICAS VIRTUALES DE AUTOMATIZACIÓN CON EL PLC SIMATIC S7-1200**

### **INTRODUCCIÓN**

Al momento actual la formación académica en las universidades se está fortaleciendo con el empleo de las Tecnologías de Información y Comunicación (TIC), generando espacios de aprendizaje que incrementan el desarrollo del conocimiento técnico e intelectual de los estudiantes.

En la Universidad del Azuay constantemente se busca innovar los procesos de enseñanza, por lo que dentro de la Escuela de Ingeniería Electrónica, específicamente en el campo de control y automatización, se propone potenciar la realización de prácticas de laboratorio, mediante nuevas formas de acceso a los recursos que ofrecen éstos, ya que el planteamiento tradicional presenta limitaciones por factores de espacio, horarios, y económicos, que disminuyen los resultados educativos.

Es por esto, que en el presente trabajo de graduación se detalla el diseño de desarrollo de un laboratorio remoto, empleando como recurso principal el PLC Simatic S7-1200 de Siemens, para la realización de prácticas virtuales con aplicación específica dentro del área de control y automatización de procesos.

El diseño de desarrollo del laboratorio remoto, define claramente tres etapas de realización progresiva, que permiten generar un sistema modular de aplicaciones y funciones, y que además facilita la operatividad individual y global del sistema.

Dentro de la primera etapa se presenta las características físicas y técnicas del equipo de control PLC S7-1200; los parámetros de configuración y programación con el STEP 7 Basic, software exclusivo para la programación este PLC; así como también los detalles de la interfaz de comunicación PROFINET.

En la etapa dos del diseño del laboratorio remoto se expone la configuración del servidor OPC “PC Access” y cliente OPC “LabVIEW”, estableciendo así los protocolos necesarios para la comunicación entre PLCs y el sistema de monitoreo y control SCADA de las respectivas prácticas, desarrolladas en la plataforma de LabVIEW.

La tercera y última etapa presenta la estructura de red interna del laboratorio, programaciones y configuraciones del software necesario para el establecimiento, control y regulación de la conexión remota.

Claramente se detalla el desarrollo de cada una de las etapas del diseño, en los cinco capítulos que comprenden la monografía de este trabajo de tesis, que se describen según los métodos de investigación y ejecución empleados, resaltando que el quinto capítulo resume las pruebas realizadas para la comprobación del funcionamiento de todo el sistema del laboratorio remoto, así como la presentación de los resultados obtenidos, que permiten exponer las conclusiones y recomendaciones a tomar en cuenta antes de la implementación del laboratorio.

# CAPÍTULO 1

## DISEÑO Y ESTRUCTURA DEL LABORATORIO REMOTO

### Introducción

En la actualidad la formación académica de los estudiantes dentro de la Ingeniería Electrónica, específicamente en el campo de la automatización, requiere potenciar la realización de prácticas, mediante nuevas formas de acceso a los recursos que ofrecen los laboratorios, a través del uso de nuevas tecnologías, ya que su utilización tradicional presenta limitaciones por factores horarios, económicos, y sobre todo de espacio, que disminuyen los resultados educativos.

En este capítulo se presenta el diseño y estructura tanto física como lógica del laboratorio remoto para realizar prácticas virtuales de automatización con el PLC Simatic S7-1200, en la Universidad del Azuay; en el que se detalla aspectos como el origen del proyecto, el ¿por qué? de la necesidad de implementar este tipo de laboratorio, la motivación y justificación que fundamenta la realización del mismo, el diseño y arquitectura del sistema, así como se detalla los componentes de hardware y software necesarios para la implementación del laboratorio, el plan de desarrollo y la metodología empleada.

### 1.1 Origen del proyecto

En los últimos años en la Universidad del Azuay, el número de alumnado ha experimentado un incremento considerable, lo que demuestra el interés de superación y la búsqueda de un nivel académico, que permita desarrollar una práctica profesional con éxito dentro de una sociedad que avanza tecnológicamente. Se pone en manifiesto que en el área de Ingeniería es válido la transmisión del conocimiento,

pero es imprescindible el desarrollo de habilidades y destrezas que se alcanzan con la realización de aplicaciones del conocimiento, en los laboratorios de prácticas.

En el área de control y automatización el laboratorio de prácticas debe cumplir con requerimientos necesarios para complementar la educación técnica, como disponibilidad de equipos, actualización de hardware y software, entre otros. Ante la carencia de alguno de éstos surgen factores que retrasan el desarrollo de aprendizaje del alumno, principalmente por la baja capacidad de utilización del laboratorio, y la imposibilidad implementación o ampliación de los mismos, debido a la inversión que representa y al costo de mantenimiento que éste implica, evidenciando aspectos que dificultan el modelo educativo tradicional, como:

- Limitación en la disponibilidad horaria de los laboratorios: son utilizables los laboratorios en horarios poco flexibles y ajustados, por lo cual los alumnos al realizar las prácticas no las desarrollan y analizan libremente.
- Limitación en el número de equipos de laboratorio: debido al coste el número de equipos disponibles es escaso dentro de un grupo práctico, por lo que provoca compartir los equipos perjudicando el aprovechamiento en las practicas realizadas.
- El deterioro de los equipos por manipulación física: la constante operación sobre los equipos por los estudiantes, induce un deterioro acelerado de los mismos.
- El sistema de evaluación: los métodos tradicionales de presentación de informes con los resultados, en muchos casos no supone un mecanismo eficaz para el aprendizaje real. La autoevaluación por parte del alumno incentiva el auto aprendizaje y precisa de una actitud más activa durante las prácticas de laboratorio.

Sin duda alguna, estos inconvenientes se presentan en las áreas de ingeniería de las diferentes universidades, en las que se pretende formar profesionales con un nivel educativo tecnológico, que vaya a la par con la sociedad actual llamada también

sociedad tecnológica, por lo que exige la búsqueda de alternativas de acceso a los laboratorios y a los equipos que los constituyen, y así optimizar los recursos en bien de los estudiantes.

## **1.2 Justificación y motivación**

Durante varios años la educación ha evolucionado positivamente, se ha establecido la educación a distancia y educación virtual, que permiten el acceso a la información de una manera objetiva y sistemática, principalmente se han desarrollado en las carreras que se consideran teóricas, pero en las carreras de ingeniería en el área tecnológica es bastante limitada, debido a la necesidad de realizar el entrenamiento práctico o ejercicios de laboratorio, empleando equipos para completar actividades requeridas en los cursos de automatización industrial, robótica y control de procesos entre otros.

Entonces es indudable la importancia generada por las nuevas tecnologías de la información y comunicaciones (TIC) en el ámbito de la Educación Superior donde han implantado formas nuevas de trabajo, relación e, incluso, cambios en los métodos pedagógicos con los que se superan los métodos tradicionales de difusión de la documentación por parte del docente. (Plataforma de aprendizaje a distancia)

La necesidad de implementar en la ingeniería laboratorios que aprovechen el avance de las Tecnologías de la Información y de las Comunicaciones (TICs), es evidente, ya que se pretende facilitar un escenario educativo, con un modelo de enseñanza remota que permita la representación virtual de un proceso de aprendizaje. Para ello se han desarrollado una gran variedad de plataformas a través de Internet, con aplicación a la automatización industrial diseñada para el control de estaciones de trabajo con equipos y módulos mecatrónicos, con el objetivo de reconfigurar en tiempo real el proceso de experimentación y obtener una interoperabilidad efectiva.

Este tipo de aplicaciones garantiza una formación orientada a la práctica, que genera ventajas en el proceso de aprendizaje del estudiante, por lo que se argumenta el desarrollo de un laboratorio remoto de automatización en la Universidad del Azuay,

aportando así en el ámbito educativo, tecnológico y económico. De las mejoras con respecto a la formación práctica tradicional se pueden destacar las siguientes:

- Empleo de equipos modernos como el PLC Simatic S7-1200, que pertenece a la nueva gama de autómatas programables de Siemens, con tecnología de punta, y que se encuentra en proceso de aplicación a la industria.
- Facilidad de acceso de los estudiantes al sistema a través de cualquier computador conectado a Internet, empleado como recurso de comunicación, donde la infraestructura y conectividad está garantizada por los prestadores de estos servicios.
- Mejora la disponibilidad del laboratorio, equipos y estaciones de trabajo, optimizando su empleo, con horarios más amplios y flexibles, por lo que los estudiantes dispondrían inclusive hasta de 24 horas para la realización de las prácticas experimentales.
- Facilita el uso compartido de equipos insuficientes o delicados, reduciendo los costos de inversión y mantenimiento, además de prolongar el período de vida útil de los equipos, ya que no son manipulados física y constantemente por los estudiantes.
- Ante el progreso constante de la tecnología, viabiliza la modernización a corto plazo, con inversiones asequibles.
- Incrementa el número de prácticas y aumenta la dedicación del alumno a la realización de las mismas, mejorando la enseñanza, pues se genera el auto aprendizaje y la autoevaluación.

Cabe destacar que la aplicación del proyecto está dentro del ámbito educativo, sin embargo es altamente viable ejecutarlo en la industria, en teleoperación, porque a todo sistema de control, líneas de producción, etc., se pretende monitorear y controlar remotamente, por lo cual el supervisor o técnico puede, además de

monitorear y controlar a distancia, obtener información del estado y procesos de la planta las 24 horas del día.

El desarrollo del laboratorio remoto, se fundamenta en aprovechar el adelanto de las Tecnologías de la Información y de las Comunicaciones (TICs), que permiten realizar una aplicación en el campus virtual e impulsar la formación práctica a distancia, para complementar así de manera eficiente la formación presencial de la tecnología de control y automatización de procesos.

La aplicación de un laboratorios remoto dentro de la educación a distancia tienen gran importancia en la actualidad, sin embargo la investigación de su desarrollo tiene origen varios años atrás, permitiendo observar las ventajas y desventajas que se han originado.

### **1.3 Diseño**

El presente proyecto tiene como objetivo el desarrollar un laboratorio remoto para realizar prácticas con aplicación específica dentro del área de control y automatización de procesos en la Escuela de Ingeniería Electrónica de la Facultad de Ciencia y Tecnología en la Universidad del Azuay, estructurado para prácticas virtuales de automatización con el PLC Simatic S7-1200, con acceso por internet a través de un navegador web y funciones de escritorio remoto, los cuales, permiten el acceso y control de los usuarios (estudiantes o profesores) del laboratorio en forma remota; lo que permitela reconfiguración en tiempo real del proceso en la experimentación y obtener así una interoperabilidad efectiva.

Los laboratorios remotos con accesos por Internet, generalmente, toman el nombre de WebLabs y las principales estrategias de diseño según García y Sáenz (2005), son:

- WebLab basado en una aplicación específica Cliente/Servidor TCP/IP: En este caso, el usuario desde su PC (cliente) envía al servidor, vía Internet, un archivo con el software que quiere descargar en, por ejemplo, un PLC conectado al

servidor. Para enviar y recibir el archivo, la aplicación utiliza el protocolo TCP/IP soportado por Internet. Este es el caso del WebLab-PLD (García et al., 2005).

- WebLab implementado como una aplicación Web: El alumno accede al servidor a través de una página Web. Un microservidor, con una IP propia, sirve como puente entre el servidor y el dispositivo programable. El usuario envía el archivo o programa vía Internet, por ejemplo, a un PLC conectado al microservidor. (Lorenzo, 2006; Ruiz y otros, 2004; Garrido, 2003).
- WebLab implementado con Terminal Server de Windows o similares: Esta estrategia se basa en utilizar el servicio Terminal Server del sistema operativo Windows. La idea básica es ceder el control del servidor a un cliente para que descargue los archivos o programas y luego los ejecute directamente en el servidor (Wu y Kuo, 2008; Coquard et al, 2008).
- Implementaciones basadas en plataformas de desarrollo de Software como LabVIEW o Matlab: Esta es una solución bastante utilizada, y sus principales ventajas son su potencia, su conocimiento por parte de la comunidad universitaria y la disponibilidad de servicios ya orientados al diseño de WebLab. (Chacón-Montiel et al. 2004; Valera et al, 2005)

Se observa entonces un conjunto de particularidades básicas que se utilizan frecuentemente como pasos metodológicos para el diseño de un entorno integral en la experimentación remota, con el requerimiento de orientación pedagógica. Se define una capa para la creación de interfaces interactivas del lado cliente y aplicaciones del lado servidor que ejecutan el lazo de control en tiempo real y los componentes de transmisión para el intercambio de información con las interfaces de usuario remoto. Otra característica principal es el diseño de una capa de e-learning para desplegar en Internet los recursos tipo web. (Web-lab)

En el proyecto se desarrolla una plataforma online de acceso remoto al laboratorio físico de automatización industrial, a través de internet desde un explorador web y atizando funciones de escritorio remoto. Lo cual, permite realizar un trabajo a distancia desde cualquier computador conectado a internet, disponible los 7 días de la

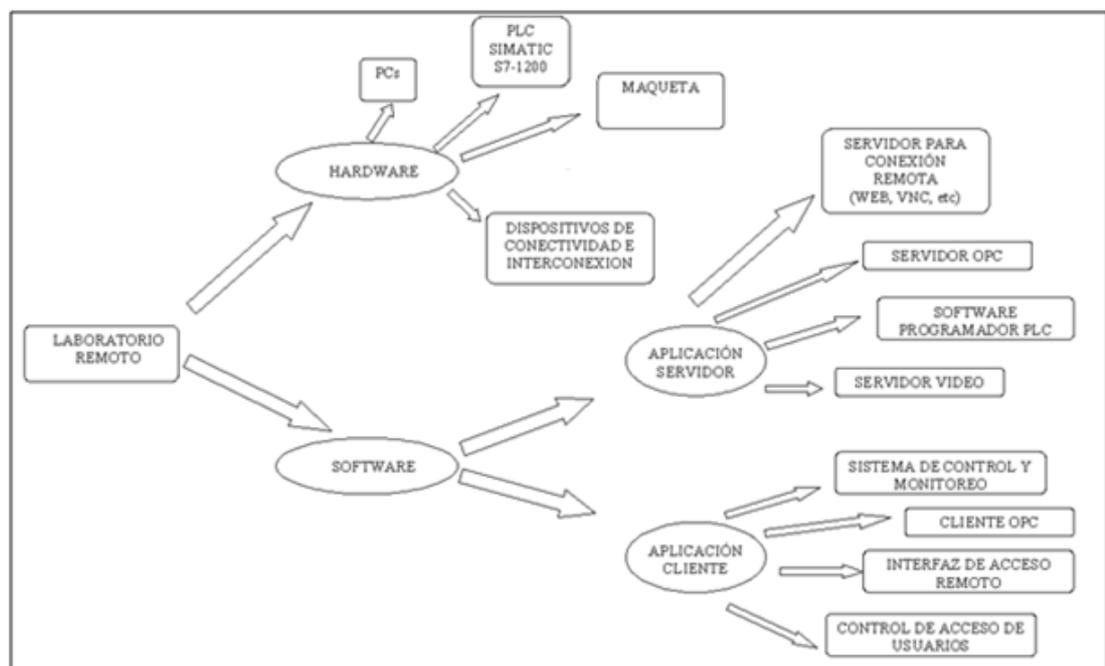
semana, las 24 horas del día, permitiendo a los usuarios la flexibilidad horaria. Este sistema permite el control del laboratorio a un usuario a la vez. Se establecen funciones que permiten emplear el sistema remoto de una manera ágil y eficaz, constituida por:

- Una interfaz web con un sistema de autenticación inicial, que permite el acceso a únicamente a usuarios registrados previamente. Brinda una interfaz a los usuarios para obtener el acceso al laboratorio, realizar reservaciones, gestión de datos, detalla la información de su uso y de las prácticas que contiene, etc.
- Un sistema control de acceso, que establece clases de usuarios con sus respectivos permisos y restricciones, diferenciando entre administrador, profesores y alumnos. Garantizando el control del laboratorio a un solo usuario a la vez, a través del establecimiento de una sesión de uso del laboratorio.
- Un sistema de reservaciones que administra los usuarios, fechas y horarios de sesiones de trabajo en el laboratorio, permitiendo seleccionar a los alumnos un horario diferente para cada práctica, y que le garantice además el uso exclusivo del laboratorio en el horario seleccionado.
- Un sistema de gestión administrativa, que permite al administrador del laboratorio, varias funciones para el control administrativo de los distintos datos de los usuarios, su registro, eliminación, permisos, restricciones, etc.
- Un sistema de control del laboratorio que se encarga de la seguridad y ejecución del mismo, como por ejemplo: el tiempo de sesión, habilitación/deshabilitación de servicios de la comunicación remota, entre otras cosas.
- Una Interfaz de Acceso Remoto, la cual, permite a los usuarios visualizar y adquirir el control del laboratorio remotamente, en su respectiva sesión, para poder utilizar todas las opciones y funciones que este brinda para realización de las prácticas de automatización. Esto, mediante el empleo de funciones de escritorio remoto (VNC).

- Dispositivos finales de control (PLC Simatic S7-1200) y las respectivas maquetas de las prácticas de laboratorio a utilizar.
- Software de programación de los PLC y las interfaces de monitoreo y control (sistemas SCADA) de las distintas prácticas de automatización a realizar.
- Una Interfaz de Video que permite la comprobación visual de la realización de las prácticas en tiempo real.

#### 1.4 Arquitectura del sistema

La arquitectura del sistema está diseñada de acuerdo a los requerimientos de funcionamiento y aplicaciones del laboratorio remoto. En la figura 1.1 se plantea una solución hardware-software, que constituye los componentes necesarios para el funcionamiento del laboratorio remoto.

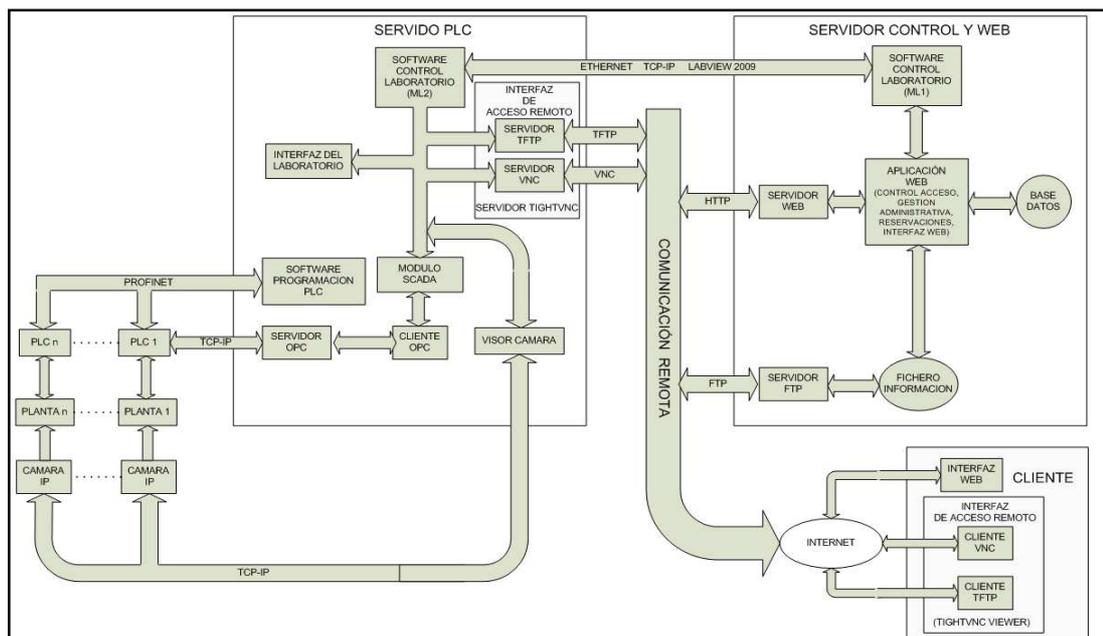


**Figura 1.1:** Diagrama de solución de hardware- software del laboratorio remoto.

Como se observa en la figura 1.1 el hardware y software planteado, permite desarrollar una arquitectura objetiva del sistema, que garantiza el correcto

funcionamiento de cada una de las etapas, y el funcionamiento global del laboratorio remoto, para permitir la conexión de los usuarios con los dispositivos finales como el PLC Simatic S7-1200.

La arquitectura planteada se observa en la figura 1.2, manifiesta las funciones individuales de las secciones del laboratorio, así como expone el funcionamiento global y de cada una de las etapas del sistema remoto.



**Figura 1.2:** Diagrama de la arquitectura del laboratorio remoto.

Esta arquitectura puede ser estructurada en 3 partes:

#### 1.4.1 Hardware de control específico

- **Planta de trabajo:** Es una maqueta con los correspondientes actuadores y sensores para cada práctica específica. Por cada una, existe un elemento que contendrá toda la lógica de control para el funcionamiento de la misma.
- **Autómata Programable (PLC):** Es el elemento de control, en este caso es el PLC Simatic S7-1200, que corresponde a la nueva gama de PLC de Siemens con nuevas y potentes características, como por ejemplo un puerto ETHERNET incorporado, que

hace de este un excelente equipo realizar para prácticas didácticas avanzadas y de aplicación en la gama media-baja de la industria. Es el encargado de controlar la planta de trabajo.

- **Cámaras:** Son los equipos utilizados para la visualización en tiempo real (relativo al ancho de banda) de las maquetas de las prácticas de los usuarios, a través de la Interfaz de acceso remoto, por parte de los usuarios. Su uso no es obligatorio y de carácter completamente opcional.

### 1.4.2 Servidor

Se distribuye en dos equipos que se encargaran del control, seguridad, visualización y conexión remota de los usuarios hacia el laboratorio y por ende al hardware de control específico, para la realización de las prácticas.

#### 1.4.2.1 Servidor PLC.

Es el equipo encargado de la comunicación en red con los PLC y contiene las siguientes características y funciones:

- **Software de Programación del PLC: STEP 7 BASIC:** Encargado de trasladar todas las configuraciones y lógica de programa al PLC S7-1200. Este software brinda importantes funciones como por ejemplo la Depuración en tiempo real y en línea de la lógica de programación del PLC.
- **Servidor OPC: PC ACCESS de Siemens:** Contiene los protocolos necesarios para la comunicación entre el PLC y el sistema SCADA.
- **Cliente OPC-Sistema SCADA:** Software que realiza la monitorización y control de las Plantas de trabajo, se comunica con el PLC a través del servidor OPC. Desarrollado en la plataforma LabVIEW 2009.

- **Servidor TFTP:** Utilizado para trasladar el programa del PLC (Ladder) personalizado desde el lado del cliente hacia el servidor.
- **Servidor VNC (Interfaz de Acceso Remoto):** Se utiliza las funciones de escritorio remoto para que los usuarios accedan remotamente al software STEP7 BASIC, local al laboratorio, y puedan trasladar sus programas al PLC, además de poder utilizar todas las características especiales que brinda este software. También, permite la visualización y control de los Sistemas SCADA de las respectivas prácticas.
- **Software Control del Laboratorio (ML2):** Se encarga de controlar varios aspectos de la seguridad del laboratorio y conexión remota, así como, de operaciones que aseguren el correcto funcionamiento del mismo entre sesiones de diferentes usuarios. Recibe órdenes del software control de laboratorio ubicado en el equipo Servidor Web y Control.
- **Visor de Cámaras (Opcional):** Es el encargado de la control y visualización de las cámaras IP, utilizadas. Su uso es opcional.

#### 1.4.2.2 Servidor Web y Control

Es el equipo encargado del control de acceso, reservaciones, gestión administrativa etc. Controla el sincronismo del laboratorio y funciona como servidor web para las páginas de acceso y administración del laboratorio, de la siguiente manera:

- **Aplicación Web:** Se encarga del control diferenciado de acceso al laboratorio (uno a la vez), control administrativo de reservaciones, modificación de datos del usuario, etc. Contiene la Interfaz Web, incluido todas las páginas web de presentación del laboratorio y scripts de programación utilizados por esta interfaz para la comunicación con los otros módulos.
- **Base de Datos:** Almacena toda la información sobre los usuarios incluyendo reservaciones, tiempo de sesión, etc.

- **Servidor Web:** ejecuta todas las operaciones de peticiones y respuestas web (http), que realizan los usuarios para acceder a la Interfaz Web de la Aplicación Web.
- **Servidor FTP:** Sirve para la descarga, por parte de los usuarios, de los archivos necesarios para la conexión remota del laboratorio, así como de los documentos con las explicaciones de las respectivas prácticas.
- **Software de Control del Laboratorio (ML1):** Se encarga de la comunicación y sincronismo entre el Servidor PLC y el Servidor Web y Control. Recibe la información de acceso por parte de la Aplicación Web y envía las respectivas órdenes al software de control de laboratorio en el equipo Servidor PLC.

### 1.4.3 Cliente

Para la conexión remota por parte de los usuarios es necesario tener instalado en la PC del cliente lo siguiente:

- TigthVNC Viewer (Opcional).
- Navegador Web, capaz de ejecutar código Java.

### 1.5 Etapas del desarrollo del laboratorio.

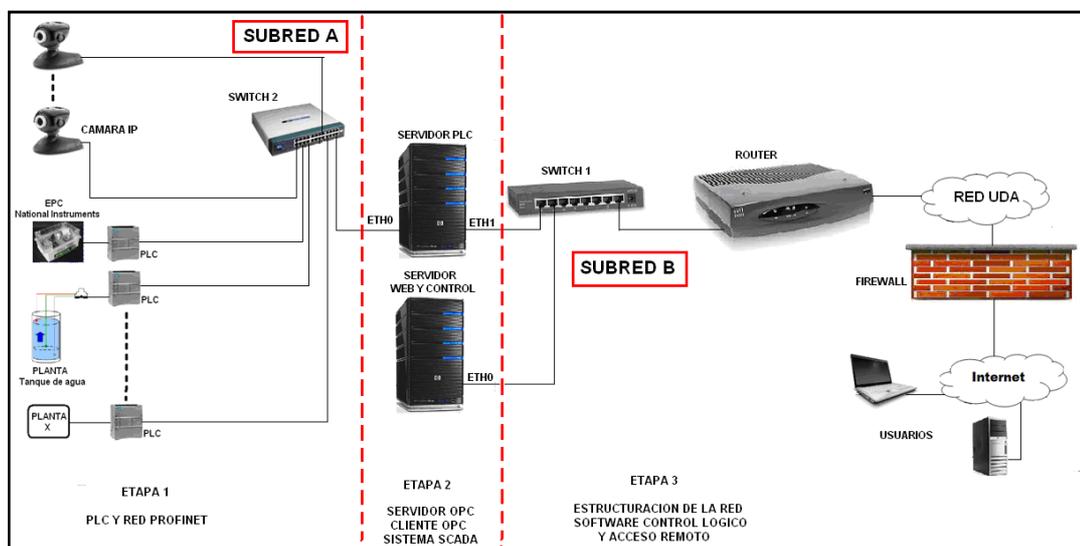
En base al diseño de la arquitectura del sistema, se plantea una metodología modular para el desarrollo del laboratorio. Se determinan tres etapas fundamentales que plantean un plan de diseño ordenado y sistemático en la realización del laboratorio remoto y que se detallan a continuación:

- a) **Etapaa1:** Programación del PLC Simatic S7-1200, y la comunicación entre múltiples PLCs en red (PROFINET).

b) **Etapa 2:** Configuración del servidor OPC, cliente OPC y desarrollo del sistema SCADA.

c) **Etapa3:** Diseño del software de acceso, control y gestión administrativa. Estructuración de la red y configuración de los servicios y seguridades necesarias para el acceso remoto al laboratorio. Cada etapa será explicada en detalle en los siguientes capítulos.

Se presenta entonces en la figura 1.3, la estructura general del laboratorio remoto, en el que se detalla las etapas, equipos, y sistemas de red para las comunicaciones.



**Figura 1.3:** Esquema de la estructura general del laboratorio remoto.

El software de programación del PLC, el sistema SCADA y el visor de las cámaras, son físicamente dispuestos de manera local al laboratorio, sin embargo; su acceso, control y visualización se la realizará remotamente a través del uso de un sistema de escritorio remoto, por parte del usuario que haya previamente establecido una sesión para el uso del laboratorio. Las razones de la elección de esta modalidad de visualización y control remoto son dos básicamente:

- 1) Para la programación del PLC S7-1200, es obligadamente necesario realizarlo de forma local, por lo que se utiliza un sistema de escritorio remoto para su control.
- 2) El control y visualización del sistema SCADA, al igual que el Visor de la Cámara IP, se lo pueden realizar a través de una interfaz web. Sin embargo; no se opta por

este método debido al surgimiento de ciertos inconvenientes al momento de restringir su acceso por medio de un sistema de establecimiento de sesión previa, especialmente en el visor de la cámara IP. Además, como ya se va a utilizar un sistema de escritorio remoto, se puede incluir el control y visualización del sistema SCADA y del visor de la cámara IP a través de este mismo medio. Lo cual, brinda al usuario, una mayor facilidad de interacción y movilidad entre los entre estos distintos sistemas para la realización de la práctica requerida.

En conclusión el sistema interfaz permite al usuario a través del software de acceso, control y aplicación web, administrar sus reservaciones de utilización del laboratorio, en el que selecciona su fecha, hora y tiempo de sesión, garantizando el uso exclusivo para cada usuario. Admite la conexión remota a los usuarios registrados con diferenciación jerárquica, para desarrollar y descargar un programa en el PLC Simatic S7-1200, empleando el software de programación STEP 7 BASIC de Siemens. A demás a través de los sistemas SCADA se establece el monitoreo y control del funcionamiento de las aplicaciones prácticas, donde la instalación física se visualiza en tiempo real, utilizando una cámara de video IP. Se establece las seguridades necesarias en la red de comunicación, así como en los equipos servidores y dispositivos de interconexión, que garantizan el correcto funcionamiento del laboratorio remoto, principalmente entre las sesiones de uso de los usuarios.

## **CAPÍTULO 2**

### **ETAPA 1. PROGRAMACIÓN DEL PLC SIMATIC S7-1200 DE SIEMENS Y ESTRUCTURACIÓN DE LA RED PROFINET**

#### **Introducción**

La primera etapa en el diseño del laboratorio remoto está constituida por los elementos de interfaz y control entre las maquetas de las prácticas de aplicación y el sistema de control y monitoreo de las mismas. Estos dispositivos de control son los PLCs Simatic S7-1200 de Siemens, elegidos por sus destacadas prestaciones y capacidades para el uso académico.

El avance tecnológico se ha incrementado considerablemente en los últimos años; en el área industrial los dispositivos y herramientas de hardware y software permiten desarrollar aplicaciones que automatizan procesos de control, acrecentando la eficacia en la producción. En este campo un dispositivo de gran valor tecnológico es el controlador lógico programable (PLC), que es un equipo digital utilizado para la automatización de procesos electromecánicos, tales como el control de maquinaria en fábricas, líneas de montaje, juegos mecánicos, dispositivos de iluminación, etc.

En el presente capítulo, se detalla las características de programación de esta gama de PLC, sus parámetros de configuración y demás conceptos necesarios para el desarrollo de esta etapa del laboratorio. También es necesario referirse a las características físicas y técnicas del PLC S7-1200, sus estados operativos, áreas de memoria, direccionamiento y los tipos de datos que emplea las variables en la programación.

Se detalla las funciones básicas que presenta el STEP 7 Basic, software exclusivo para la programación del Simatic S7-1200, además el tipo de programación que

ofrece sus herramientas y funciones, y se define la utilización de la función de Test y diagnóstico online de la CPU, que permite la verificación en tiempo real de la programación del PLC. También se trata sobre las funciones especiales que posee como: los contadores rápidos (HSC), el modulador de ancho de pulso (PWM) y el regulador PID, empleados en el proceso de programación del PLC para las aplicaciones finales.

También se expone sobre la interfaz PROFINET, encargada de la comunicación entre varios PLCs, sus características tecnológicas, protocolos soportados, configuración de los diferentes tipos de comunicaciones y las instrucciones que permiten la comunicación de la red PROFINET para el laboratorio remoto.

## **2.1 Controlador lógico programable (PLC) Simatic S7-1200**

### **2.1.1 Introducción**

El controlador lógico programable (PLC) Simatic S7-1200 de Siemens, presenta un diseño compacto, escalable, con amplio juego de instrucciones y con potentes funciones tecnológicas integradas como: entradas de alta velocidad para la medición, salidas de alta velocidad para regulación de velocidad, posición o punto de operación. Integra también la funcionalidad PID para lazos de regulación, por lo que tiene una gran capacidad de controlar una amplia variedad de dispositivos para las distintas tareas de automatización.

La CPU incorpora un microprocesador, una fuente de alimentación integrada, circuitos de entrada/salida de control de movimiento de alta velocidad y entradas analógicas incorporadas, conformando así un potente controlador. Una vez descargado la programación, esta CPU contiene la lógica necesaria para vigilar y controlar los dispositivos de la aplicación, de este modo vigila las entradas y cambia el estado de las salidas según la lógica del programa de usuario, que puede incluir lógica booleana, instrucciones de contaje y temporización, funciones matemáticas complejas, así como comunicación con otros dispositivos inteligentes.

Agrupar funciones de seguridad que protegen el acceso a la CPU y al programa de control como protección por contraseña que permite configurar el acceso a sus funciones, protección de know-how para ocultar el código de un bloque específico.

Una de las características más importantes es la interfaz integrada de comunicaciones PROFINET, que soporta las normas Ethernet y de comunicación basada en TCP/IP, además permite la programación del PLC, comunicación de CPU a CPU, paneles HMI, lo cual amplía las posibilidades de integración con equipos de otros fabricantes ya que emplea protocolos abiertos de Ethernet como el TCP/IP.

En la figura 2.1 se presenta la imagen de un controlador lógico programable (PLC) Simatic S7-1200, en la que se observa el diseño de ingeniería integrado sin costuras, características modulares, visualizadores de entradas y salidas, etc.



**Figura 2.1:** Controlador Lógico Programable (PLC) Simatic S7-1200

*Fuente:* Siemens AG, Manual de sistema, controlador programable S7-1200, Alemania 11/2009, A5E02486683-0.

La programación y la conectividad del PLC Simatic S7-1200 son operables con el sistema de ingeniería SIMATIC STEP 7 Basic, que ofrece una interfaz gráfica y editores intuitivos para una configuración eficiente del PLC. Este software otorga la interacción de controlador HMI y facilita la configuración de componentes de hardware y red, esquemas de diagnóstico, entre otros.

### 2.1.2 Características físicas

El controlador lógico programable (PLC) Simatic S7-1200, posee características físicas, que específicamente han sido diseñados para ahorrar espacio en el panel de control, por lo que permite eficiencia y flexibilidad durante el proceso de instalación. Este controlador de Siemens presenta características técnicas que destacan su potencial tecnológico integrado, como las entradas analógicas y por la capacidad de admitir gran variedad de módulos de señales y signal boards. Es posible también instalar módulos de comunicación adicionales para soportar otros protocolos de comunicación.

Por otro lado, en la tabla 2.1 se presenta el resumen de las características tecnológicas integradas del PLC Simatic S7-1200, de modo comparativo entre las tres versiones de CPU existentes actualmente en la industria Siemens.

Función	CPU 1211C	CPU 1212C	CPU 1214C
Dimensiones físicas (mm)	90 x 100 x 75		110 x 100 x 75
Memoria de usuario	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Memoria de trabajo</li> <li>• Memoria de carga</li> <li>• Memoria remanente</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>• 50 KB</li> <li>• 2 MB</li> <li>• 2 KB</li> </ul>
E/S integradas locales	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Digitales</li> <li>• Analógicas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 6 entradas/4 salidas</li> <li>• 2 entradas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 8 entradas/6 salidas</li> <li>• 2 entradas</li> </ul>
Tamaño de la memoria imagen de proceso	1024 bytes para entradas (I) y 1024 bytes para salidas (Q)		
Área de marcas (M)	4096 bytes		8192 bytes
Ampliación con módulos de señales	Ninguna	2	8
Signal Board	1		
Módulos de comunicación	3 (ampliación en el lado izquierdo)		
Contadores rápidos	3	4	6
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fase simple</li> <li>• Fase en cuadratura</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 3 a 100 kHz</li> <li>• 3 a 80 kHz</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 3 a 100 kHz</li> <li>• 1 a 30 kHz</li> <li>• 3 a 80 kHz</li> <li>• 1 a 20 kHz</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 3 a 100 kHz</li> <li>• 3 a 30 kHz</li> <li>• 3 a 80 kHz</li> <li>• 3 a 20 kHz</li> </ul>
Salidas de impulsos	2		
Memory Card	SIMATIC Memory Card (opcional)		
Tiempo de respaldo del reloj de tiempo real	Típico: 10 días / Mínimo: 6 días a 40 °C		
PROFINET	1 puerto de comunicación Ethernet		
Velocidad de ejecución de funciones matemáticas con números reales	18 µs/instrucción		
Velocidad de ejecución booleana	0,1 µs/instrucción		

**Tabla 2.1:** Cuadro resumen de las características de las CPUs Simatic S7-1200.

*Fuente:* Siemens AG, Manual de sistema, controlador programable S7-1200, Alemania 11/2009, A5E02486683-0.

Se observa en la tabla 2.1, los diferentes modelos de CPUs que ofrecen una gran variedad de funciones y prestaciones que permiten crear soluciones efectivas destinadas a numerosas aplicaciones, además en el Anexo 1 de este trabajo se presenta el diagrama de cableado de un PLC S7-1200 de Siemens, específicamente de la CPU 1214C DC/DC/DC.

La gama Simatic S7-1200 ofrece la posibilidad de instalar módulos de señales y signal boards que permiten ampliar las prestaciones de la CPU., la capacidad de Entradas / Salidas de la CPU., de manera que se pueden expandir fácilmente las señales digitales y analógicas sin afectar al tamaño físico del controlador. Se presenta a continuación en la tabla 2.2, los módulos de señales (SM) y signal board (SB).

Módulo		Sólo entradas	Sólo salidas	Entradas y salidas
Módulo de señales (SM)	Digital	8 entradas DC	8 salidas DC 8 salidas de relé	8 entradas DC/8 salidas DC 8 entradas DC/8 salidas de relé
		16 entradas DC	16 salidas DC 16 salidas de relé	16 entradas DC/16 salidas DC 16 entradas DC/16 salidas de relé
	Analógico	4 entradas analógicas 8 entradas analógicas	2 salidas analógicas 4 salidas analógicas	4 entradas analógicas/2 salidas analógicas
Signal Board (SB)	Digital	-	-	2 entradas DC/2 salidas DC
	Analógico	-	1 salida analógica	-
Módulo de comunicación (CM)				
<ul style="list-style-type: none"> <li>• RS485</li> <li>• RS232</li> </ul>				

**Tabla 2.2:** Módulos de señales (SM) y signal board (SB) del Simatic S7-1200.

*Fuente:* Siemens AG, Manual de sistema, controlador programable S7-1200, Alemania 11/2009, A5E02486683-0.

## 2.2 Tareas en cada ciclo de la CPU del Simatic S7-1200

En la CPU del Simatic S7-1200, en cada ciclo se escribe en las salidas, se leen las entradas, se ejecutan las instrucciones del programa de usuario y se realiza el mantenimiento del sistema o procesamiento en segundo plano. En condiciones estándar, todas las E/S digitales y analógicas se actualizan de forma síncrona con el ciclo, utilizando una área de memoria interna denominada memoria imagen de

proceso. La memoria imagen de proceso contiene una instantánea de las entradas y salidas físicas de la CPU, de la signal board y de los módulos de señales.

La CPU lee las entradas físicas inmediatamente antes de ejecutar el programa de usuario y almacena los valores de entrada en la memoria imagen de proceso de las entradas. Así se garantiza que estos valores sean coherentes durante la ejecución de las instrucciones programadas.

La CPU ejecuta la lógica de las instrucciones programadas y actualiza los valores de salida en la memoria imagen de proceso de las salidas, en vez de escribirlos en las salidas físicas reales. Tras ejecutar el programa de usuario, la CPU escribe las salidas resultantes de la memoria imagen de proceso en las salidas físicas.

### **2.3 Estados operativos de la CPU del Simatic S7-1200**

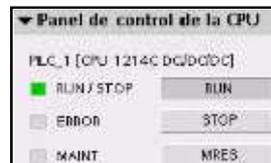
Los estados operativos que presenta la CPU del Simatic S7-1200 son tres: STOP, ARRANQUE y RUN, que a través de los Leds de estado en el frente de la CPU indican el estado operativo actual. Las características más destacadas de cada estado se presentan a continuación.

- En estado operativo STOP, la CPU no ejecuta el programa, por es posible cargar un proyecto en la CPU.
- En estado operativo ARRANQUE, los OBs de arranque (si existen) se ejecutan una vez. Los eventos de alarma no se procesan durante la fase de arranque del estado operativo RUN.
- El ciclo se ejecuta repetidamente en estado operativo RUN. Los eventos de alarma pueden ocurrir y procesarse en cualquier fase del ciclo del programa. En estado operativo RUN no es posible cargar proyectos en la CPU.

La CPU soporta el arranque en caliente para pasar al estado operativo RUN. El arranque en caliente no incluye la inicialización de la memoria. Los datos de sistema no remanentes y los datos de usuario se inicializan en un arranque en caliente. Se conservan los datos de usuario remanentes.

El tipo de arranque y método de re arranque de la CPU se pueden determinar mediante el software de programación. Cuando se aplica tensión, la CPU ejecuta una secuencia de tests de diagnóstico de arranque e inicialización del sistema, que conmuta al tipo de arranque configurado, donde se pueden presentar determinados errores que impiden que la CPU pase a estado operativo RUN.

Otra característica a tomar en cuenta es que la CPU no dispone de un interruptor físico para cambiar el estado operativo, se emplea el panel de operador de la CPU que se encuentra en las herramientas online de STEP 7 Basic para cambiar el estado operativo (STOP o RUN) y que a continuación en la figura 2.2, se puede apreciar en detalle.



**Figura 2.2:** Panel de control de la CPU del Simatic S7-1200.

*Fuente:* Siemens AG, Manual de sistema, controlador programable S7-1200, Alemania 11/2009, A5E02486683-0.

Sin embargo el software STEP 7 Basic permite insertar una instrucción STOP en el programa para cambiar la CPU a estado operativo STOP, y detener la ejecución de un programa en función de la lógica. En estado operativo STOP, la CPU no ejecuta el programa de usuario y la memoria imagen de proceso no se actualiza automáticamente.

## 2.4 Áreas de memoria, direccionamiento y tipos de datos

### 2.4.1 Áreas de memoria y direccionamiento

La CPU provee las áreas de memoria siguientes para almacenar el programa de usuario, los datos y la configuración:

- La memoria de carga permite almacenar de forma no volátil el programa de usuario, los datos y la configuración. Cuando un proyecto se carga en la CPU, se almacena primero en el área de memoria de carga.
- La memoria de trabajo ofrece almacenamiento volátil para algunos elementos del proyecto mientras se ejecuta el programa de usuario.
- La memoria remanente permite almacenar de forma no volátil un número limitado de valores de la memoria de trabajo. El área de memoria remanente se utiliza para almacenar los valores de algunas posiciones de memoria durante un corte de alimentación.

STEP 7 Basic facilita la programación simbólica, crea nombres simbólicos o "variables" para las direcciones de los datos, ya sea como variables PLC, asignadas a direcciones de memoria y E/S o como variables locales utilizadas dentro de un bloque lógico. Estas variables incluyen un nombre, tipo de datos, offset y comentario. Para utilizarlas en el programa de usuario basta con introducir el nombre de variable para el parámetro de instrucción. La CPU ofrece varias opciones para almacenar datos durante la ejecución del programa de usuario:

- Memoria global: La CPU ofrece distintas áreas de memoria, incluyendo entradas (I), salidas (Q) y marcas (M). Todos los bloques lógicos pueden acceder sin restricción alguna a esta memoria.
  - I (memoria imagen de proceso de las entradas): La CPU consulta las entradas de periferia (físicas) inmediatamente antes de ejecutar el OB de ciclo en cada ciclo y escribe estos valores en la memoria imagen de proceso de las entradas.
  - Q (memoria imagen de proceso de las salidas): La CPU copia los valores almacenados en la imagen de proceso de las salidas en las salidas físicas. Se permiten accesos de lectura y escritura a la memoria imagen de proceso de las salidas.
  - M (área de marcas): El área de marcas (memoria M) puede utilizarse para relés de control y datos para almacenar el estado intermedio de una operación u otra información de control.

- Memoria temporal: Cada que se llama un bloque lógico, el sistema operativo de la CPU asigna la memoria temporal o local (L) que debe utilizarse durante la ejecución del bloque. Cuando finaliza la ejecución del bloque lógico, la CPU reasigna la memoria local para la ejecución de otros bloques lógicos. La memoria temporal es similar al área de marcas, con una excepción importante: el área de marcas tiene alcance "global", en tanto que la memoria temporal tiene alcance "local".
- Memoria de trabajo: Bloque de datos (DB), es posible incluir DBs en el programa de usuario para almacenar los datos de los bloques lógicos. Los datos almacenados se conservan cuando finaliza la ejecución del bloque lógico asociado. Un DB "global" almacena datos que pueden ser utilizados por todos los bloques lógicos, mientras que un DB instancia almacena datos para un bloque de función (FB) específico y está estructurado según los parámetros del FB.

En la siguiente tabla 2.3, se detalla las capacidades de memoria de la CPU del Simatic S7-1200.

Función	CPU 1212C
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Memoria de trabajo</li> <li>• Memoria de carga</li> <li>• Memoria remanente</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 25 KB</li> <li>• 1 MB</li> <li>• 2 KB</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Memoria imagen de proceso (entradas)</li> <li>• Memoria imagen de proceso (salidas)</li> <li>• Área de marcas (M)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 1024 bytes</li> <li>• 1024 bytes</li> <li>• 4096 bytes</li> </ul>

**Tabla 2.3:** Detalle de las capacidades de la memoria de la CPU Simatic S7-1200.

*Fuente:* Siemens AG, Manual de sistema, controlador programable S7-1200, Alemania 11/2009, A5E02486683-0.

En la CPU del Simatic S7-1200, se puede adicionar una memory card SIMATIC opcional que proporciona una memoria alternativa para almacenar el programa de usuario, así como un medio para transferir el programa. Si se utiliza una memory card, la CPU ejecutará el programa desde allí y no desde la memoria de la CPU.

Las referencias a las áreas de memoria de entrada (I) o salida (Q), acceden a la memoria imagen del proceso. Para acceder inmediatamente a la entrada o salida

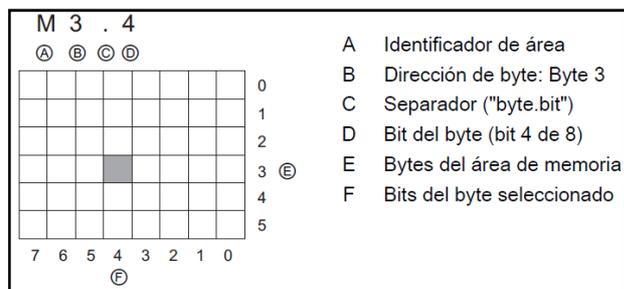
física es preciso añadir ":P". El forzado permanente escribe un valor en una entrada (I) o una salida (Q). Para forzar permanentemente una entrada o salida, agregue una ":P" a la variable PLC o dirección. Par aclarar estos conceptos, en la tabla 2.4 se presenta las áreas de memoria con las especificaciones correspondientes a cada una de ellas.

Área de memoria	Descripción	Forzado permanente	Remanente
I Memoria imagen de proceso de las entradas I_:P1 (entrada física)	Se copia de las entradas físicas al inicio del ciclo	No	No
	Lectura inmediata de las entradas físicas de la CPU, SB y SM	Sí	No
Q Memoria imagen de proceso de las salidas Q_:P1 (salida física)	Se copia en las salidas físicas al inicio del ciclo	No	No
	Escritura inmediata en las salidas físicas de la CPU, SB y SM	Sí	No
M Área de marcas	Control y memoria de datos	No	Sí (opcional)
L Memoria temporal	Datos locales temporales de un bloque	No	No
DB Bloque de datos	Memoria de datos y de parámetros de FBs	No	Sí (opcional)

**Tabla 2.4:** Detalle de las áreas de memoria de la CPU Simatic S7-1200.

**Fuente:** Siemens AG, Manual de sistema, controlador programable S7-1200, Alemania 11/2009, A5E02486683-0.

Toda posición de memoria diferente tiene una dirección unívoca. El programa de usuario utiliza estas direcciones para acceder a la información de la posición de memoria. La figura 2.3 muestra cómo acceder a un bit (lo que también se conoce como direccionamiento "byte.bit"). En este ejemplo, el área de memoria y la dirección del byte (I = entrada y 3 =byte 3) van seguidas de un punto (".") que separa la dirección del bit (bit 4).



**Figura 2.3:** Direccionamiento "byte.bit" en las áreas de memoria del S7-1200.

**Fuente:** Siemens AG, Manual de sistema, controlador programable S7-1200, Alemania 11/2009, A5E02486683-0.

En el Simatic S7-1200, a los datos de la mayoría de las áreas de memoria (I, Q, M, DB y L) se puede acceder como bytes, palabras o palabras dobles utilizando el formato "dirección de byte". Para acceder aun byte, una palabra o una palabra doble de datos en la memoria, la dirección debe especificarse de forma similar a la dirección de un bit, detallada anteriormente. En la tabla 2.5 se muestra ejemplos de la estructura del direccionamiento de las variables.

Bit	M[dirección de byte].[dirección de bit]	M26.7
Byte, palabra o palabra doble	M[tamaño][dirección de byte inicial]	MB20, MW30, MD50
Bit	DB[número de bloque de datos].DBX[dirección de byte].[dirección de bit]	DB1.DBX2.3
Byte, palabra o palabra doble	DB[número de bloque de datos].DB [tamaño][dirección de byte inicial]	DB1.DBB4, DB10.DBW2, DB20.DB8

**Tabla 2.5:** Estructura de direccionamiento de variables en la CPU S7-1200.

*Fuente:* Siemens AG, Manual de sistema, controlador programable S7-1200, Alemania 11/2009, A5E02486683-0.

## 2.4.2 Tipos de datos

Los tipos de datos se utilizan para determinar el tamaño de un elemento y cómo deben interpretarse los datos, todo parámetro de instrucción soporta como mínimo un tipo de datos. Un parámetro formal es el identificador en una instrucción que indica la ubicación de los datos que deben utilizarse. Un parámetro actual es la posición de memoria o constante que contiene los datos que debe utilizar la instrucción. El tipo de datos del parámetro actual definido por el usuario debe concordar con uno de los tipos de datos que soporta el parámetro formal especificado por la instrucción.

Al definir un parámetro actual es preciso indicar una variable (símbolo) o una dirección absoluta, que no tenga una variable asociada, y utilizar un tamaño apropiado que coincida con el tipo de datos soportado. La tabla 2.6, muestra los tipos de datos simples soportados, incluyendo ejemplos de entrada de constantes.

Tipo de datos	Tamaño (bits)	Rango	Ejemplos de entrada de constantes
Bool	1	0 a 1	TRUE, FALSE, 0, 1
Byte	8	16#00 a 16#FF	16#12, 16#AB
Word	16	16#0000 a 16#FFFF	16#ABCD, 16#0001
DWord	32	16#00000000 a 16#FFFFFFFF	16#02468ACE
Char	8	16#00 a 16#FF	'A', 't', '@'
Sint	8	128 a 127	123, -123
Int	16	32.768 a 32,767	123, -123
Dint	32	-2.147.483.648 a 2.147.483.647	123, -123
USInt	8	0 a 255	123
UInt	16	0 a 65.535	123
UDInt	32	0 a 4.294.967.295	123
Real	32	+/-1,18 x 10 <sup>-38</sup> a +/-3,40 x 10 <sup>38</sup>	123,456, -3,4, -1,2E+12, 3,4E-3
LReal	64	+/-2,23 x 10 <sup>-308</sup> a +/-1,79 x 10 <sup>308</sup>	12345.123456789 -1,2E+40
Time	32	T#-24d_20h_31m_23s_648ms to T#24d_20h_31m_23s_647ms Almacenado como: -2,147,483,648 ms to +2,147,483,647 ms	T#5m_30s 5#-2d T#1d_2h_15m_30x_45ms
String	Variable	0 a 254 caracteres en tamaño de byte	'ABC'
DTL <sup>1</sup>	12 bytes	Mínima: DTL#1970-01-01-00:00:00.0 Máxima: DTL#2554-12-31-23:59:59.999 999 999	DTL#2008-12-16-20:30:20.250

**Tabla 2.6:** Tabla de los tipos de datos simples, soportados por la CPU Simatic S7-1200.

*Fuente:* Siemens AG, Manual de sistema, controlador programable S7-1200, Alemania 11/2009, A5E02486683-0.

A continuación se presenta en la tabla 2.7 las instrucciones de conversión de datos, aunque no están disponibles como tipos de datos, estas instrucciones soportan el siguiente formato numérico BCD.

Formato	Tamaño (bits)	Rango numérico	Ejemplos
BCD16	16	-999 a 999	123, -123
BCD32	32	-9999999 a 9999999	1234567, -1234567

**Tabla 2.7:** Tabla de instrucciones de conversión de formato numérico BCD.

*Fuente:* Siemens AG, Manual de sistema, controlador programable S7-1200, Alemania 11/2009, A5E02486683-0.

## 2.5 Ejecución del programa de usuario

Un programa de usuario es una ejecución de instrucciones lógicas coherentes programadas, desarrolladas en bloque lógicos. La CPU del SimaticS7-1200 soporta

diferentes tipos de bloques lógicos para estructurar eficientemente el programa de usuario, y a continuación se presentan con las características más relevantes.

- Bloque de organización (OB): es un bloque lógico que generalmente contiene la lógica principal y define la estructura del programa. El OB reacciona a un evento específico en la CPU y puede interrumpir la ejecución del programa. El bloque predeterminado para la ejecución cíclica del programa de usuario (OB 1) ofrece la estructura básica y es el único bloque lógico que se requiere para el programa de usuario. Los OBs restantes ejecutan funciones específicas, tales como tareas de arranque, procesamiento de alarmas, etc.
- Un bloque de función (FB) es una subrutina que se ejecuta cuando se llama desde otro bloque lógico (OB, FB o FC). Un FB utiliza también un bloque de datos asociado (denominado DB instancia) para conservar el estado de valores durante la ejecución que pueden utilizar otros bloques del programa. El bloque que efectúa la llamada transfiere parámetros al FB e identifica un bloque de datos determinado (DB) que almacena los datos de la llamada o instancia específica de ese FB. La modificación del DB instancia permite a un FB genérico controlar el funcionamiento de un conjunto de dispositivos. El bloque de función FB, en las aplicaciones se puede reutilizar.
- Una función (FC) es una subrutina que se ejecuta cuando se llama desde otro bloque lógico (OB, FB o FC). La FC no tiene un DB instancia asociado. El bloque que efectúa la llamada transfiere parámetros a la FC. Los valores de salida de la FC deben escribirse en una dirección de la memoria o en un DB global si otros componentes del programa de usuario necesitan utilizarlos. Una función FC no puede ser reutilizado.
- Los bloques de datos (DBs) Los bloques de datos se utilizan para almacenar diferentes tipos de datos, incluyendo el estado intermedio de una operación u otros parámetros de control de FBs, así como estructuras de datos requeridas para numerosas instrucciones. La ejecución del programa de usuario comienza con uno o varios bloques de organización (OBs) de arranque que se ejecutan una vez al

cambiar a estado operativo RUN, seguidos de uno o varios OBs de ciclo que se ejecutan cíclicamente. En el desarrollo del laboratorio remoto, los bloques de datos controlan distintas instancias en la aplicación, mientras que el bloque DB1 se define como un bloque de datos global para situar las variables que se publican en el sistema SCADA, debido a las restricciones en el Servidor OPC explicado en el capítulo siguiente.

El tamaño del programa de usuario, los datos y la configuración está limitado por la memoria de carga disponible y la memoria de trabajo de la CPU. El número de bloques soportado no está limitado dentro de la cantidad de memoria de trabajo disponible.

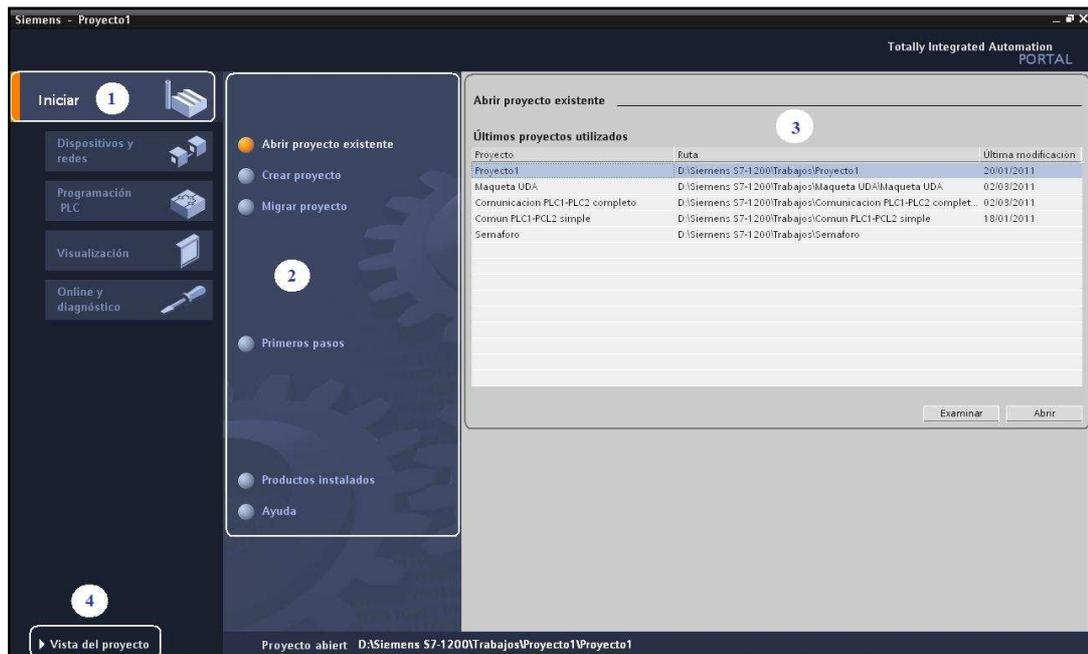
## **2.6 Software de programación STEP 7 Basic**

### **2.6.1 Introducción**

El STEP 7 Basic, es un software exclusivo para la programación del Simatic S7-1200 que proporciona un entorno de fácil manejo para configurar la lógica del controlador, la visualización de HMI y la comunicación por red. El STEP 7 Basic ofrece dos vistas diferentes del proyecto, que el usuario puede seleccionar según considere más apropiada para trabajar eficientemente, estas son:

**a) Vista del portal:** que son portales orientados a tareas y organizados según las funciones de las herramientas. La figura 2.4 a continuación presentada, muestra la vista del portal y sus partes principales que son:

- 1) Portales para las diferentes tareas.
- 2) Tareas del portal seleccionado.
- 3) Panel de selección para la acción.
- 4) Cambia a la vista del proyecto.



**Figura 2.4:** Vista del portal del software STEP 7 Basic de Siemens.

**b) Vista del proyecto:** orientada a los elementos del proyecto, que proporciona una vista funcional de las tareas y organiza las herramientas de acuerdo con la tarea que se va a realizar, presentado de forma jerárquica. Se detalla la vista en la figura 2.5, cuyas partes principales son:

- 1) Menús y barra de herramientas.
- 2) Árbol del proyecto.
- 3) Área de trabajo.
- 4) Task Cards.
- 5) Ventana de inspección.
- 6) Cambia a la vista del portal.
- 7) Barra del editor.

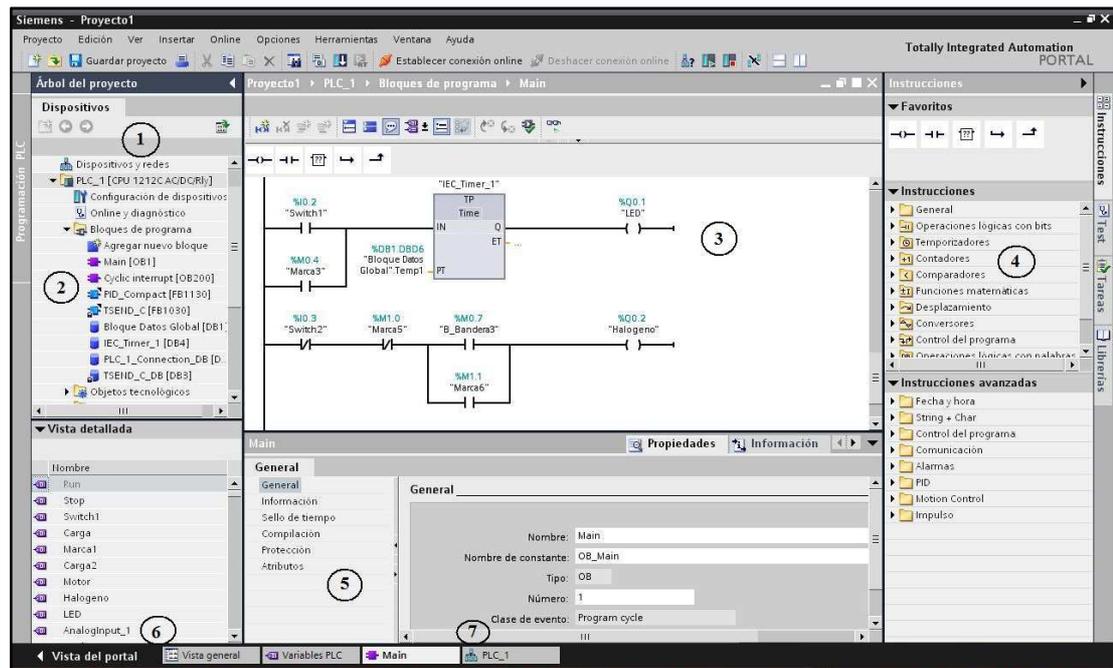


Figura 2.5: Vista del proyecto del software STEP 7 Basic de Siemens.

El STEP 7 Basic es un software que ofrece editores intuitivos y de manejo sencillo, lo que le convierte en un sistema de ingeniería global para programar exclusivamente controladores Simatic S7-1200, y desarrollar soluciones de automatización completas, garantizando un entorno eficiente y de acceso rápido.

## 2.6.2 Funciones básicas

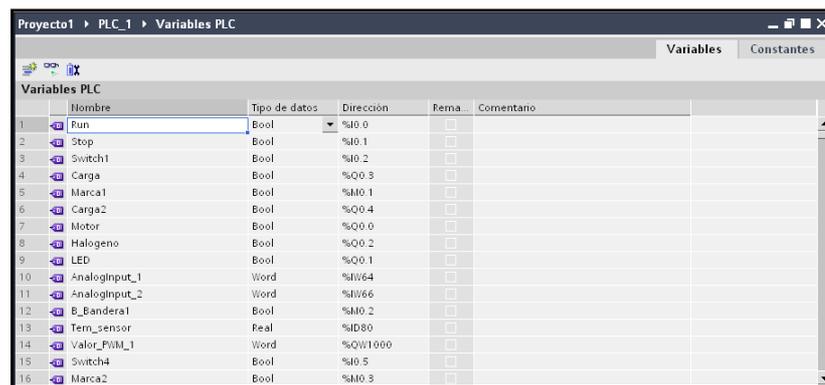
Todos los componentes se encuentran en un solo lugar, por lo que es posible acceder fácilmente a todas las áreas del proyecto. La ventana de inspección, muestra las propiedades e información acerca del objeto seleccionado en el área de trabajo, también incluye fichas que permiten ver información de diagnóstico y otros mensajes.

Empleando las múltiples funciones se aprovechan las aplicaciones como arrastrar y soltar instrucciones que se agrupan según su función, desde el árbol de instrucciones hasta un segmento, además la barra de herramientas permite acceder rápidamente a las instrucciones utilizadas con mayor frecuencia. Para poder realizar las tareas rápida y fácilmente, STEP 7 Basic permite arrastrar elementos mediante Drag&Drop

de un editor a otro, ya que al "Dividir área del editor", pueden ser visualizados varios editores simultáneamente en mosaico vertical u horizontal.

Es posible detectar la configuración de una CPU, si se dispone de una CPU física que puede conectarse a una programadora (PC), resulta fácil cargar la configuración hardware desde la CPU. Es operable también cambiar los ajustes del área de trabajo y modificar el aspecto de la interfaz, el idioma o el directorio deseado para guardar el trabajo.

Todas las variables generadas en el STEP 7 Basic, se guardan en una tabla de variables. La dirección de la variable se puede introducir directamente desde la tabla de variables en la instrucción, para lo cual se selecciona el contacto en la rama, tal como se detalla en la figura 6.



	Nombre	Tipo de datos	Dirección	Rama	Comentario
1	Run	Bool	%I0.0	<input type="checkbox"/>	
2	Stop	Bool	%I0.1	<input type="checkbox"/>	
3	Switch1	Bool	%I0.2	<input type="checkbox"/>	
4	Carga	Bool	%Q0.3	<input type="checkbox"/>	
5	Marca1	Bool	%I0.1	<input type="checkbox"/>	
6	Carga2	Bool	%Q0.4	<input type="checkbox"/>	
7	Motor	Bool	%Q0.0	<input type="checkbox"/>	
8	Halogeno	Bool	%Q0.2	<input type="checkbox"/>	
9	LED	Bool	%Q0.1	<input type="checkbox"/>	
10	AnalogInput_1	Word	%IW64	<input type="checkbox"/>	
11	AnalogInput_2	Word	%IW66	<input type="checkbox"/>	
12	B_Bandera1	Bool	%I0.2	<input type="checkbox"/>	
13	Tem_sensor	Real	%ID80	<input type="checkbox"/>	
14	Valor_FIIM_1	Word	%QW1000	<input type="checkbox"/>	
15	Switch4	Bool	%I0.5	<input type="checkbox"/>	
16	Marca2	Bool	%I0.3	<input type="checkbox"/>	

**Figura 2.6:** Tabla de variables en la instrucción, contacto en la rama.

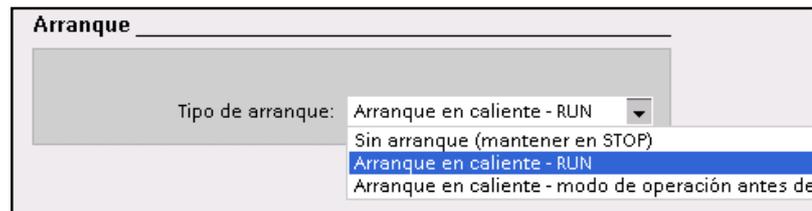
Para cargar el programa de usuario en la CPU, es necesario configurar una CPU en la configuración de dispositivos del proyecto, para lo cual se emplea la función "Detección de hardware" de la configuración de dispositivos, que carga la configuración de hardware de la CPU. De manera predeterminada el STEP 7 Basic crea una CPU "sin especificar" al abrir el editor KOP, que debe determinarse para establecer una conexión con la CPU online.

STEP 7 Basic detecta toda CPU conectada al equipo, seleccionar la CPU a la que se desea configurar y programar, y a continuación empleamos "Cargar" para aplicar la configuración de la CPU en el proyecto. En detalle se observa en la figura 2.7.



**Figura 2.7:** Detección de CPU conectado a el equipo.

Las propiedades de una CPU se utilizan para configurar los parámetros operativos de la CPU, como por ejemplo, el ajuste predeterminado para el arranque tras desconectar y volver a conectar la alimentación es que la CPU pase al estado operativo STOP. En la figura 2.8 se observa diálogo para seleccionar el tipo de arranque de las CPU.



**Figura 2.8:** Cuadro de diálogo de selección del tipo de arranque en el STEP 7 Basic.

Otro parámetro de gran importancia es asignar una dirección IP única a cada CPU, ya que si es nuevo el PLC al cargar la configuración de la CPU, ésta no tiene preasignada ninguna. Para realizar la configuración se selecciona el puerto PROFINET en la CPU para visualizar sólo las propiedades de la interfaz PROFINET, se elige "Direcciones Ethernet" en la ventana de inspección y en el área "Protocolo IP" se visualiza la dirección IP predeterminada que ha creado STEP 7 Basic. Se utiliza una dirección IP que según las exigencias de la aplicación e instalación, puede ser necesario configurar sobre una red específica para la CPU. Además incluye la opción de utilizar un router, para lo cual se debe configurar con su propia dirección IP para una subred de PLCs. La figura 2.9 detalla la configuración de las direcciones IP en el puerto PROFINET.

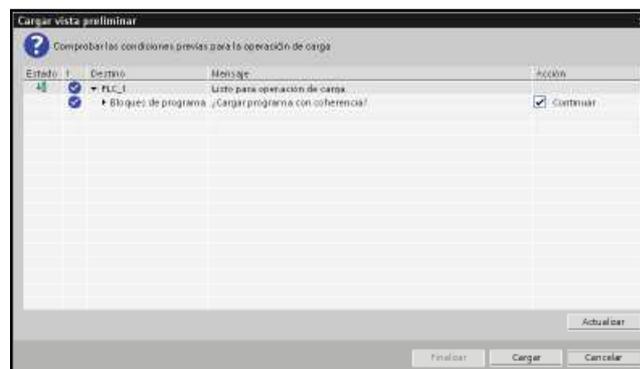


**Figura 2.9:** Configuración de la direcciones IP en el puerto PROFINET de la CPU.

Si la CPU no tiene asignado originalmente una dirección IP, o están en una subred distinta a la interfaz del PC, switch o router, saldrá una ventana similar a la de la figura 2.7, se selecciona la opción *Mostrar Todos los Dispositivos Accesibles*, que muestra todos los PLCs conectados, seleccionando el que se vaya a programar.

Realizado las configuraciones anteriores se procede a cargar las mismas en la CPU, para lo cual se selecciona la CPU deseada, y tras establecer la conexión con la CPU, STEP 7 Basic muestra el diálogo "Cargar vista preliminar", se acepta y a continuación, STEP 7 Basic muestra el diálogo "Cargar resultados", y con finalizar, la CPU queda configurado para que utilice la dirección IP establecida.

A continuación en la figura 2.10 se muestra el detalle para cargar el programa de usuario en la CPU, desde el editor de programas con el botón "Cargar en dispositivo" se establece la conexión con la CPU, STEP 7 Basic muestra el diálogo "Cargar vista preliminar", se da clic en "Cargar" y antes de "Finalizar", se debe seleccionar "Arrancar todos" para asegurar que la CPU pase a estado operativo RUN.



**Figura 2.10:** Vista preliminar de la carga de programa de usuario en la CPU.

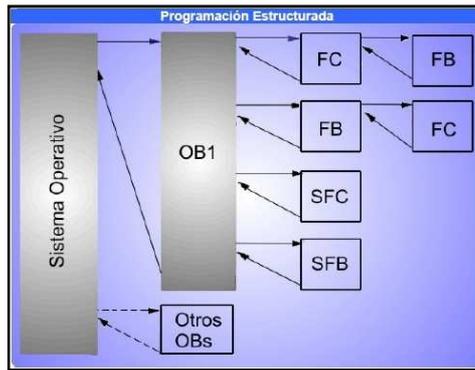
Los parámetros presentados en esta sección son los básicos para desarrollar un programa de usuario, realizar la configuración, programación y carga de una aplicación en una CPU Simatic S7-1200, de modo que garantizan el correcto funcionamiento del sistema.

### **2.6.3 Programación estructurada**

Para programar tareas de automatización muy complejas donde utilizar una programación lineal resulta demasiado laborioso, es conveniente en este caso dividir el problema en partes, interpretándolo y resolviéndolo en forma parcial mediante bloques y al final unir este conjunto de programas en uno solo. A este tipo de programación se le conoce con el nombre de programación estructurada, que se caracteriza por la independencia funcional, donde cada bloque del programa realiza una tarea específica claramente definida.

La programación estructurada optimiza el tiempo de escaneo ya que no se ejecutan todos los bloques en cada ciclo de barrido, ejecutándose sólo los que están en actividad en el momento dado, empleando mejora la capacidad de la memoria y optimización del tiempo de barrido. Son muchas las ventajas que se obtienen programando en forma estructurada, facilita la comprensión, solución, simulación y las pruebas, ya que el problema muy complejo es tratado por partes. De igual manera el diagnóstico de fallas y por ende su solución es también más fácil, dado que una vez identificado el bloque del programa donde se encuentra la falla, su corrección resulta más rápido que si se afrontara el programa global.

Dependiendo del tipo de procesador del PLC la programación estructurada puede aprovecharse con eficiencia, ya que está compuesta por una serie de bloques de programación, que se ejecutan en base al procesamiento secuencial o lineal de un bloque matriz, que viene hacer el núcleo de la estructura. El detalle de una programación estructurada lo presentamos en el diagrama de la figura 2.11 siguiente.



**Figura 2.11:** Esquema de programación estructurada.

### 2.6.4 Conexión online con el PLC

El software STEP 7 Basic, incorpora aplicaciones de gran utilidad con características de ingeniería avanzadas que permiten interactuar de manera online con la CPU del Simatic S7-1200, con facilidad de uso de las herramientas para establecer conexión con una CPU. Como ventajas en el desarrollo del programa de usuario, y la depuración del mismo, la conexión online aporta posibilidades adicionales, que se detalla a continuación:

- a) Cargar una dirección IP en una CPU online: donde se procede a asignar una dirección IP, y descargando la configuración en la CPU. Se debe tomar en cuenta que la dirección IP y la máscara de subred de la CPU deben ser compatibles con la dirección IP y la máscara de subred de la programadora.
- b) Interactuar con la CPU online: El portal online y diagnóstico proporciona un panel de operador que permite cambiar el modo de operación de la CPU. La "Herramienta online" muestra un panel de operador en el que se indica el modo de operación de la CPU, y es la única forma que permite cambiar el modo de operación (STOP o RUN), y se muestra en detalle en la figura 2.12 siguiente.



**Figura 2.12:** Panel de control de la CPU, para el estado de operación.

- c) Cargar desde la CPU online: Se proporciona dos métodos para cargar los bloques lógicos del programa de usuario desde una CPU online. Desde el árbol del proyecto es posible arrastrar los bloques lógicos mediante Drag&Drop desde la CPU online a la CPU del proyecto offline. También es posible utilizar la función "Comparar" para sincronizar los bloques lógicos entre las CPUs online y offline:
- d) Comparar CPUs online y offline: Actualizar, comparar y sincronizar bloques lógicos del programa de usuario, los bloques lógicos de una CPU online y los del proyecto offline se deben verificar que coinciden, el editor de comparación permite sincronizar ambas. La comparación detallada destaca las diferencias entre los bloques lógicos de las CPUs online y offline, cabe destacar que no se puede realizar esta depuración si el código del programa de usuario es distinto al código cargado en la CPU, por lo que se debe verificar que el proyecto está sincronizado, es decir, que ambos tienen la misma configuración y programa de usuario.
- e) Visualizar los eventos de diagnóstico: La CPU proporciona un búfer de diagnóstico que contiene una entrada para cada evento de diagnóstico, como un cambio en el estado operativo de la CPU o errores detectados por la CPU o los módulos. Los 50 eventos más recientes están disponibles en este búfer, un evento nuevo reemplaza al evento más antiguo.
- f) Utilizar una tabla de observación para vigilar la CPU: Una de las herramientas más destacadas del STEP 7 Basic, sin duda son las tablas de observación, que permiten vigilar o forzar los valores de las variables a medida que la CPU va ejecutando el programa, así observar el funcionamiento del programa de usuario.

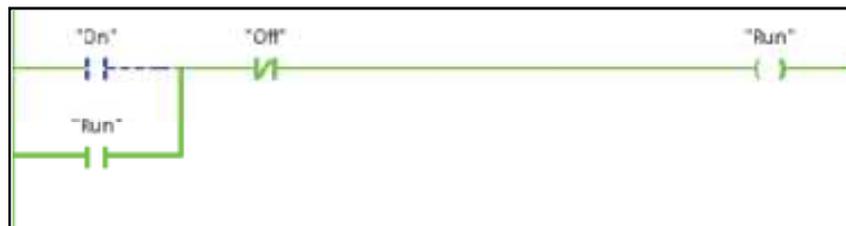


	Nombre	Dirección	Formato visualiza	Valor de observac	Valor de forzado
1	"On"	%I 0	Bool	<input type="checkbox"/> FALSE	
2	"Off"	%I 1	Bool	<input type="checkbox"/> FALSE	
3	"Run"	%Q0.0	Bool	<input type="checkbox"/> FALSE	

**Figura 2.13:** Tabla de observación del software STEP 7 Basic de Siemens.

Las tablas de observación ofrece la función "Forzar" que sirve para modificar el valor de una variable, ésta función no tiene efecto en las entradas (I) y salidas (Q), puesto que la CPU actualiza las E/S, sobrescribiendo todo valor forzado antes de leerlo. Sin embargo ofrece la función "Forzar permanentemente" que permite forzar los valores de las E/S.

- g) Observar el estado en el editor KOP: Es posible observar el estado de las variables empleando la barra de editores KOP, que permite conmutar la vista entre los editores abiertos sin tener que abrirlos o cerrarlos, además "Activar/desactivar observación" para ver el estado del programa de usuario. La señalización visualiza el flujo de corriente en color verde para una activación indicando el que la corriente fluye hacia un contacto, bobina, etc. En la figura 2.14 se observa el flujo de corriente por los contactos activados, y de igual manera en caso contrario



**Figura 2.14:** Estado en el editor KOP, conexión online con la CPU, software STEP 7 Basic de Siemens.

### 2.6.5 Funciones especiales del PLC S7-1200 configuradas desde el STEP 7 Basic

Para el desarrollo de las aplicaciones del proyecto, dentro de la programación de PLC, se emplearon funciones tecnológicas especiales que posee la CPU del Simatic S7-1200, éstas pueden ser controladas y programadas con el STEP 7 Basic, son de fácil utilización y poseen características tecnológicas muy aplicables en la automatización de procesos. A continuación presentamos dichas funciones con sus características relevantes.

- a) Generadores de impulsos integrados:** Es posible configurar las salidas de la CPU o Signal Boards (SB) para que funcionen como un generador de impulsos o como un tren de impulsos (PTO). Sin embargo se toma en cuenta que los trenes de impulsos no pueden ser utilizados por otras instrucciones dentro del programa de usuario y la instrucción de modulación del ancho de pulso (PWM) y las instrucciones de Motion Control básicas utilizan estas salidas.

Al configurar las salidas de la CPU o SB como generadores de impulsos (para el uso con instrucciones PWM o de Motion Control básicas), las direcciones correspondientes de las salidas (Q0.0, Q0.1, Q2.0 y Q2.1) se eliminan de la memoria Q y no pueden ser utilizadas para otros fines dentro del programa de usuario. Un aspecto muy importante a considerar es que no debe excederse la frecuencia de pulsos máxima, en los generadores la frecuencia de impulsos de salida es 100 KHz para las salidas digitales de la CPU y 20 KHz para las de la Signal Board.

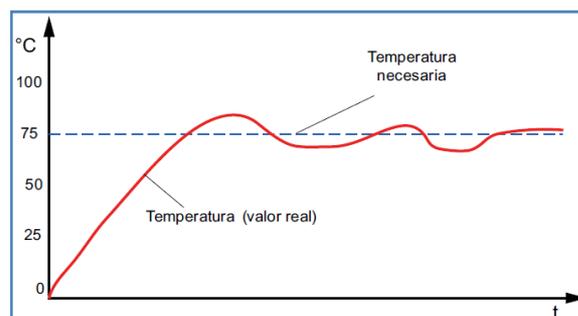
- b) Contadores rápidos (HSC):** Puede utilizarse como entrada para un encoder rotativo incremental, que ofrece un número determinado de valores de conteo por revolución, así como un impulso de reset que ocurre una vez por revolución. El o los relojes y el impulso de reset del encoder suministran las entradas para el contador rápido.
- c) Modulación del ancho de pulso (PWM):** La salida PWM puede variar entre 0 y escala completa, provee una salida digital que, en numerosos aspectos, es similar a una salida analógica. Se emplea en aplicaciones para controlar la velocidad de un motor (desde paro, hasta toda velocidad) o la posición de una válvula (desde cerrada, hasta totalmente abierta). Las instrucciones se basan en tiempo de ciclo y duración de impulso, es decir la aplicación de PWM modifica únicamente el ciclo de trabajo (duty cycle).

La instrucción CTRL\_PWM ofrece un tiempo de ciclo fijo con un ciclo de trabajo variable. La salida PWM se ejecuta continuamente tras haberse iniciado a la frecuencia indicada (tiempo de ciclo). La dirección predeterminada es QW1000 para PWM1 y QW1002 para PWM2, pero esta es fácilmente configurable en las propiedades de la CPU, estas direcciones en cuestión controlan el ancho del impulso

y se inicializa a la "duración de impulso inicial", cuyo valor es especificado cada vez que el PLC pasa de estado operativo STOP a RUN. El valor del ancho de impulso puede cambiarse en run-time para modificar la duración de impulso, pero la frecuencia del impulso solo puede ser cambiada en la configuración de dispositivos. El ancho de impulso varía según sea necesario para obtener el control deseado. Cada generador de impulsos puede asignarse a PWM o PTO, pero no a ambos simultáneamente.

**d) Regulador PID:** Esta función está formada por un elemento proporcional, uno integral y uno diferencial, y registra continuamente el valor real medido de la magnitud regulada dentro de un lazo de regulación y lo compara con un valor deseado. A partir del error resultante, el regulador PID calcula una magnitud manipulada que aproxima la magnitud regulada al deseado con la mayor rapidez y estabilidad posible.

La utilización del regulador PID produce un efecto de sobre-oscilación y aparece cuando entre la regulación y la medición del valor real se produce un retardo. En la figura 2.15 siguiente se muestra la posible evolución de una curva de temperatura después de conectar la instalación por primera vez:



**Figura 2.15:** Gráfica de regulación de una variable de temperatura, controlado por PID.

**Fuente:** Siemens AG, SIMATIC S7-1200, *Getting Started del S7-1200*, 11/2009, A5E02486794-01.

Este objeto tecnológico tiene aplicación sobre diferentes variables como: temperatura, presión, velocidad, fuerza, tensión potencia, volumen, ángulo, etc. Una regulación es necesaria siempre que una magnitud física determinada, como la de las variables mencionadas, deba tener un valor determinado en el proceso y dicho valor pueda cambiar debido a condiciones externas imprevisibles. La ventaja más

significativa es la automatización de este proceso de regulación, que se realiza en la programación de PLC.

La instrucción PID\_compact del software STEP 7, se compone de un proceso de regulación del elemento de medición (o sensor) y de un elemento de control final, en el que se configura las variables (analógicas de entrada del sensor), se definen los parámetros de regulación PID, escalamiento de valores, y alarmas de advertencia de límites (inferiores y superiores).

Para introducir un lazo PID se agrega un nuevo bloque organizacional (OB) del tipo interrupción cíclica para iniciar el programa en intervalo periódico, y en el segmento de programación se adiciona la instrucción avanzada PID\_compact, asegurando la selección de la base de datos del bloque de datos correspondiente al objeto tecnológico PID. Se configura parámetros del regulador PID como el tipo de regulación, la referencia (Set-Point), la especifica la entrada al regulador y el tipo de variable de entrada y salida.

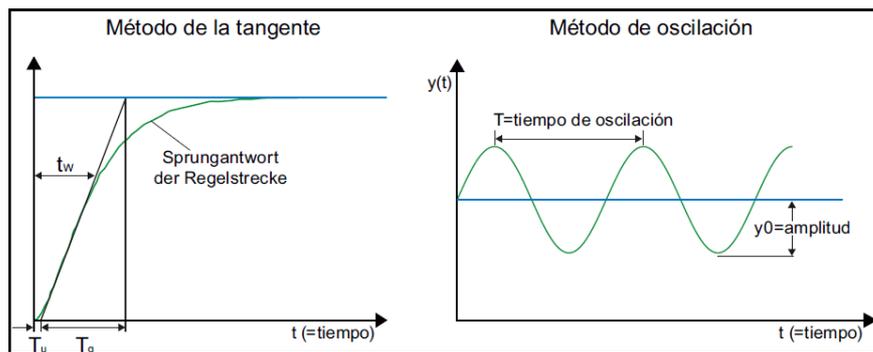
A continuación se carga el programa al controlador y se habilita las funciones de “puesta en servicio”, para realizar el ajuste del regulador, donde el proceso sin errores, determina los parámetros PID o constantes proporcional integral y diferencial, que permiten el funcionamiento de la regulación en modo automático, aunque existe la posibilidad de agregar los valores de las constantes del PID de manera manualmente.

En el regulador PID en modo online se desarrolla la regulación en la ventana de curvas, que permite optimizar y adaptar el regulador al proceso regulado, basado en dos opciones disponibles:

- e) Autoajuste en el primer arranque: se utiliza el método de la tangente en el punto de inflexión, para determinar las constantes de tiempo de la respuesta al escalón, en este punto de inflexión se traza una tangente con la que se determinan los parámetros del proceso tiempo de retardo ( $T_u$ ) y tiempo de compensación ( $T_g$ ). Para determinar los parámetros por el método de la tangente en el punto de inflexión, la diferencia entre la consigna y el valor real debe ser como mínimo del

30%. Si no es así, se utiliza automáticamente el método de oscilación con la función "Autoajuste en el punto de operación" para determinar los parámetros del regulador.

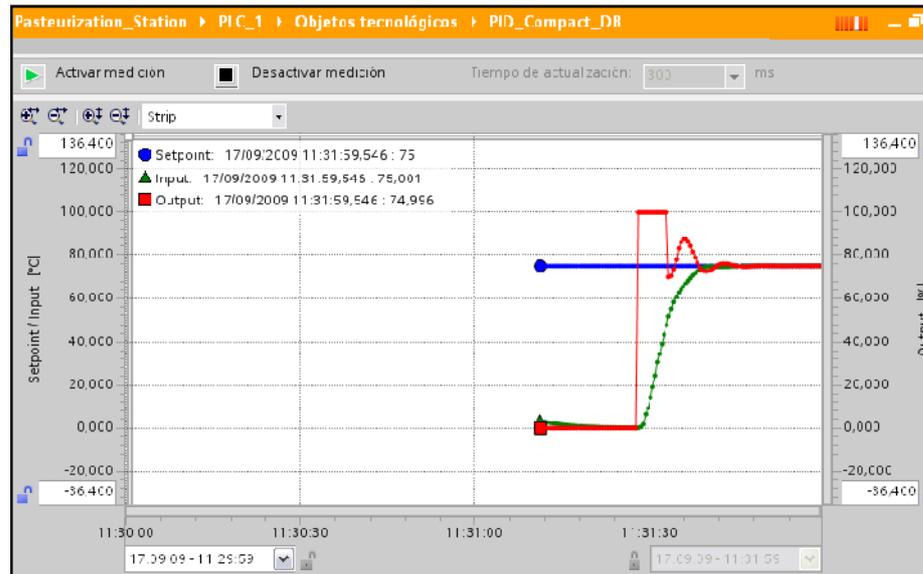
En la figura 2.16 siguiente muestra la respuesta del proceso regulado a un escalón usando el método de la tangente (autoajuste en el primer arranque) y con el método de oscilación (autoajuste en el punto de operación):



**Figura 2.16:** Respuesta del proceso regulado a un escalón, en modo autoajuste del PID.

**Fuente:** Siemens AG, *Getting Started, Simatic TIA Portal STEP 7 Basic V10.5, Alemania 12/2009 A5E02714428-01*

f) Autoajuste en el punto de operación: este utiliza el método de oscilación para optimizar los parámetros del regulador y determinar el comportamiento del proceso regulado de forma indirecta. El factor de ganancia se aumenta hasta que se alcanza el límite de estabilidad y la magnitud regulada oscila homogéneamente. Los parámetros del regulador se calculan a partir de la duración de la oscilación. Para mejor detalle se presenta la figura 2.17 siguiente.

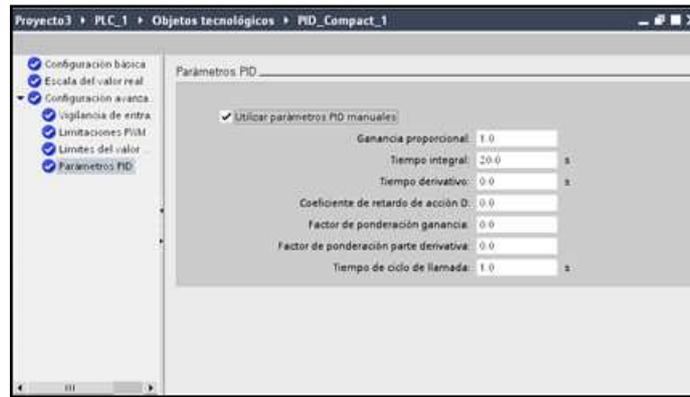


**Figura 2.17:** Gráfica de evolución de la curva de regulación PID en la "Puesta en servicio".

*Fuente:* Siemens AG, *Getting Started, Simatic TIA Portal STEP 7 Basic V10.5, Alemania 12/2009 A5E02714428-01*

En el desarrollo de las prácticas de aplicación del laboratorio remoto, al emplear este elemento tecnológico se determina que para un correcto funcionamiento que garantice la comunicación de las variables con el sistema SCADA, es necesario crear primeramente el bloque de datos DB1, ya que si se crea un bloque de funciones como el de la aplicación de PID, se creará conjuntamente un bloque de datos (DB) de instancia, que tomaría el nombre DB1, ya que este último es el único que permite acceder a variables desde el sistema SCADA a el Servidor OPC (PC Access), que en principio se diseño para acceder a un PLC de la gama S7-200, que tenía un solo bloque de datos, esto se explica con más detalle en el siguiente capítulo.

Dentro del objeto tecnológico regulador PID, los parámetros de regulación se pueden configurar de forma automática o manual, para luego descárgalos en el PLC según la aplicación. Para detalle se presenta la figura 2.18 siguiente.



**Figura 2.18:** Ventana de configuración de parámetros PID, en el STEP7 Basic.

Sin embargo, desde esta ventana de configuración no es posible modificar y actualizar en línea o tiempo real, los parámetros de regulación PID en el PLC, como: constante de proporcionalidad, tiempo integral, tiempo derivativo, así como los límites de alarma, entre otros. Para modificar estos parámetros en el estado operativo RUN del PLC y así reconfigurar el regulador PID en tiempo real, se los debe modificar en el bloque de instancia del mismo.

Para abrirlo, se da clic derecho en el objeto tecnológico del PID correspondiente y se selecciona la opción “Abrir en el editor”. Este contiene las variables locales del bloque de función PID, en las cuales, los parámetros de regulación están en la dirección *Static / sRet*, y son:

- Constante de Proporcionalidad --- r\_Ctrl\_Gain
- Constante de Tiempo Integral---r\_Ctrl\_Ti
- Constante de Tiempo Derivativo --- r\_Ctrl\_Td

La figura 2.19 a continuación presentada, muestra la ventana de bloque de datos creada por el objeto PID\_Compact del STEP 7 Basic de Siemens.

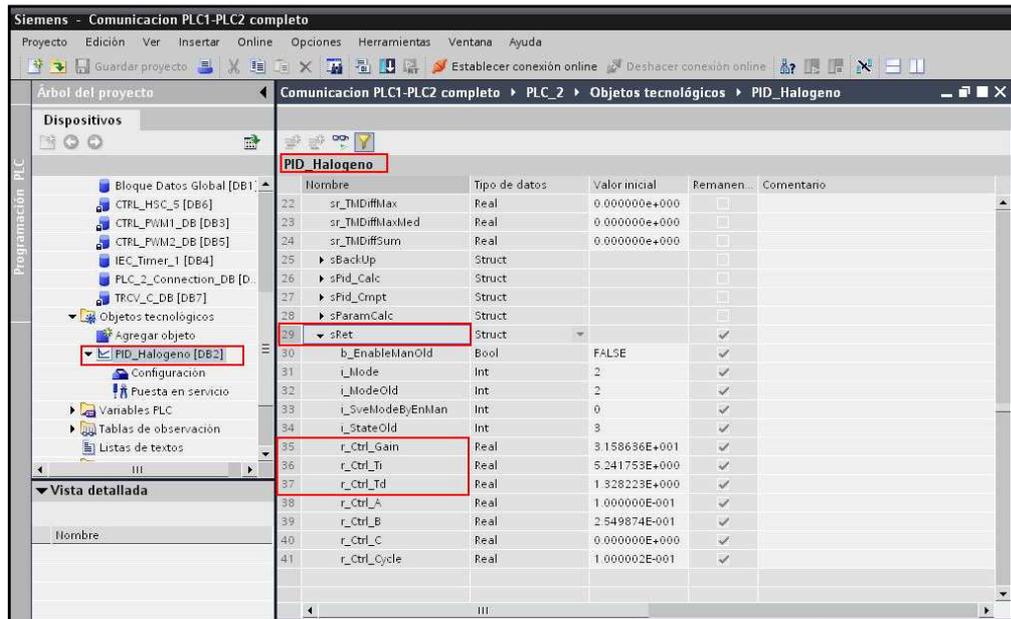


Figura 2.19: Parámetros de regulación del objeto tecnológico PID del STEP 7 Basic.

Por lo expuesto anteriormente, es de suma importancia, generar un código de programa para la transferencia de datos entre el bloque de instancia de una función tecnológica como la aplicación PID, y el bloque de datos DB1, para el control y monitoreo de estas variables con el sistema SCADA, que se detalla en la figura 2.20 siguiente.

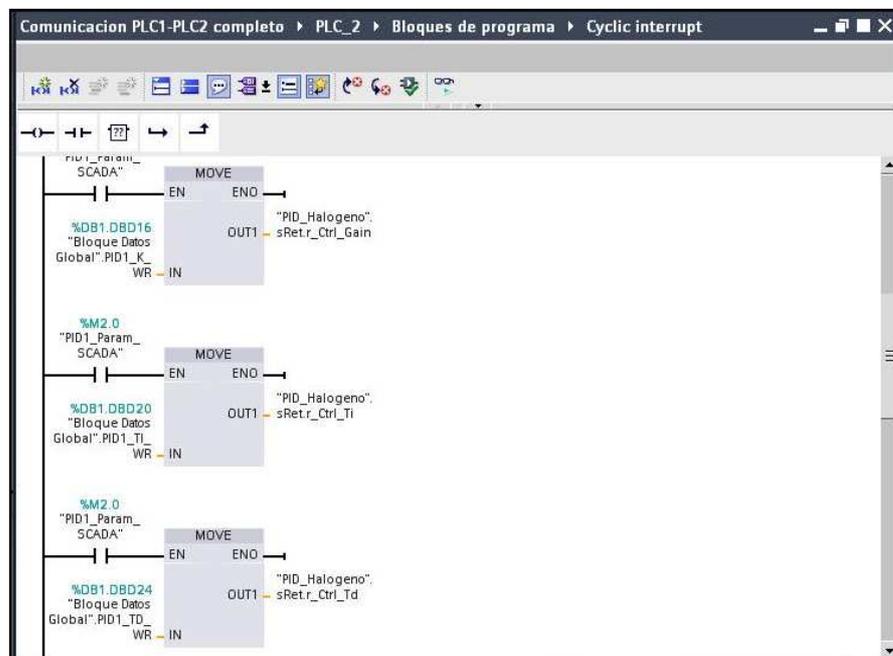


Figura 2.20: Programa de transferencia de datos entre el bloque del PID y el bloque DB1.

## 2.7 Conexión y configuración de la red PROFINET

En el diseño del laboratorio remoto la configuración de la subred de los PLCs debe garantizar la comunicación y por lo tanto la transferencia de datos entre el programador o computador (Servidor PLC) y el dispositivo controlador (PLC), así también la comunicación entre múltiples PLCs. El SimaticS7-1200 ofrece grandes prestaciones para este tipo de comunicaciones.

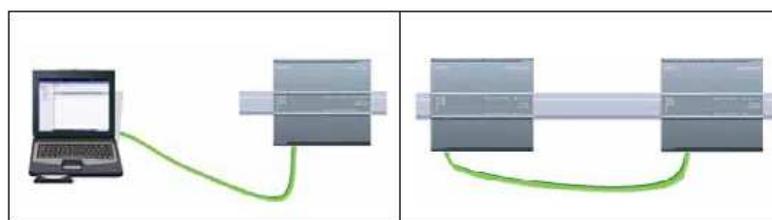
A continuación se detalla las características de los objetos tecnológicos y los detalles de programación que se emplean para realizar la configuración de la red PROFINET, que permita la comunicación eficiente del hardware empleado en laboratorio remoto.

### 2.7.1 Interfaz PROFINET

PROFINET es el estándar Ethernet innovador y abierto (IEC 61158) de PROFIBUS & PROFINET Internacional (PI) para la automatización industrial. Permite conectar equipos desde el nivel del campo hasta el nivel de gestión.

La CPU S7-1200 incorpora un puerto PROFINET basado en normas Ethernet y de comunicación TCP/IP, que soporta los protocolos de aplicación como Transport Control Protocol (TCP) e ISO on TCP (RFC 1006). La CPU S7-1200 puede comunicarse con otras CPU programadas en el STEP 7 Basic, dispositivos HMI y dispositivos no Siemens que utilicen protocolos de comunicación TCP estándar. Hay dos formas de comunicación vía PROFINET:

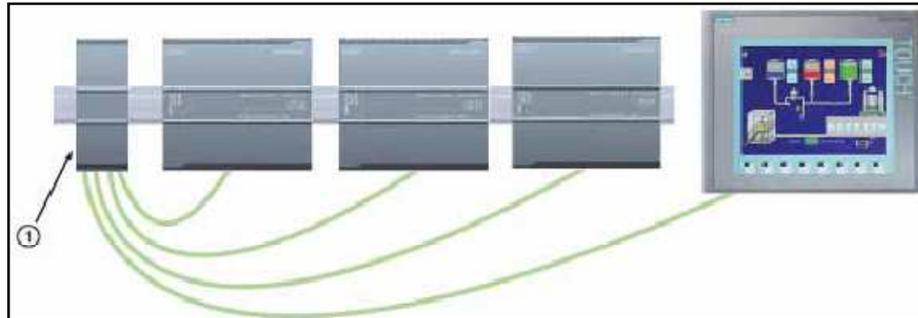
**a) Conexión directa:** Se utiliza para conectar una programadora, dispositivo HMI u otra CPU a una sola CPU, tal como se puede observar en la figura 2.21 presentada a continuación.



**Figura 2.21:** Comunicación directa entre programador y CPU, y entre CPUs.

**Fuente:** Siemens AG, SIMATIC S7-1200 Easy Book, Alemania 11/2009, A5E02486778-01

**b) Conexión de red:** Se utiliza, si deben conectarse más de dos dispositivos CPUs, HMIs, programadoras y dispositivos no Siemens, utilizando un switch Ethernet, ya que el puerto PROFINET de la CPU S7-1200 no contiene un dispositivo de conmutación Ethernet. El detalle se observa en la figura 2.22 siguiente.



**Figura 2.22:** Comunicación de red entre programador CPUs y HMI. 1) Switch Siemens.

*Fuente:* Siemens AG, SIMATIC S7-1200 Easy Book, Alemania 11/2009, A5E02486778-01

El puerto PROFINET está formado por una conexión RJ45 inmune a perturbaciones alcanzando una velocidad de transferencia de datos de hasta 10/100 Mb/s, con función autocrossing, que reduce al mínimo el cableado y permite la máxima flexibilidad de red, ya que admite hasta 16 enlaces Ethernet, en conexiones simultáneas, que son:

- a) 3 conexiones para la comunicación entre dispositivos HMI y la CPU.
- b) 2 conexión para la comunicación entre la programadora (PG) y la CPU.
- c) 8 conexiones para la comunicación del programa del S7-1200 utilizando instrucciones de bloque T (TSEND\_C, TRCV\_C, TCON, TDISCON, TSEN, TRCV)
- d) 3 conexiones para la comunicación de una CPU S7-1200 pasiva y una activa.

Como detalle se acota que la CPU S7 activa utiliza las instrucciones GET y PUT (S7-300 y S7-400) o ETHx\_XFER (S7-200), y en una conexión S7-1200 activa sólo es posible con las instrucciones del bloque T.

Con esta interfaz PROFINET, integrada en el SIMATIC S7-1200, es posible integrar la comunicación con dispositivos de series anteriores como el S7-200, que emplea la comunicación en redes a través del puerto RS485 o RS232 con protocolos USS y

Modbus respectivamente, para lo cual existen los módulos de comunicación con conversión a puerto Ethernet, que comunican con el protocolo TCP/IP.

### 2.7.2 Instrucciones PROFINET (bloques T)

Se utiliza las instrucciones de bloques T exclusivamente en un OB de ciclo (OB 1), como TSEND\_C que establece una conexión TCP o ISO on TCP con un interlocutor, envía datos y puede deshacer la conexión. Una vez configurada y establecida la conexión, la CPU la mantiene y la vigila automáticamente. TSEND\_C combina las funciones de TCON, TDISCON y TSEND.

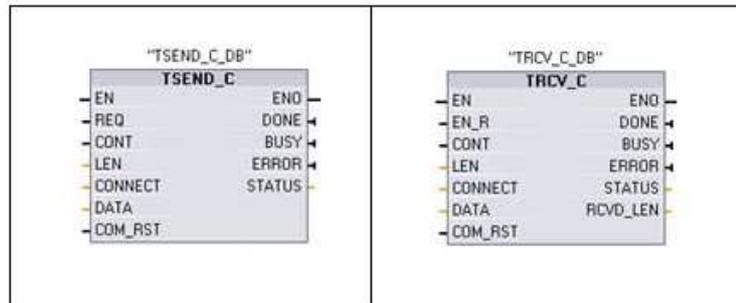
Para establecer una conexión, se ejecuta TSEND\_C con CONT= 1. Una vez establecida la conexión correctamente, se activa el parámetro DONE durante un ciclo. Para deshacer la conexión, se ejecuta TSEND\_C con CONT = 0. La conexión se interrumpirá inmediatamente y afecta también a la estación receptora. La conexión se cierra allí y pueden perderse los datos del búfer de recepción.

Para enviar datos a través de una conexión establecida, se ejecuta TSEND\_C cuando se produzca un flanco ascendente en REQ. Tras una operación de envío correcta, TSEND\_C activa el parámetro DONE durante un ciclo. Para establecer una conexión y enviar datos, se ejecuta TSEND\_C con CONT = 1 y REQ =1. Tras una operación de envío correcta, TSEND\_C activa el parámetro DONE durante un ciclo.

Por otro lado TRCV\_C establece una conexión TCP o ISO-on-TCP con una CPU interlocutora, recibe datos y puede deshacer la conexión. Una vez configurada y establecida la conexión, la CPU la mantiene y la vigila automáticamente. La instrucción TRCV\_C combina las funciones de las instrucciones TCON, TDISCON y TRCV.

Para establecer una conexión, ejecute TRCV\_C con el parámetro CONT = 1. Para recibir datos, ejecute TRCV\_C con el parámetro EN\_R = 1. Los datos se reciben continuamente si los parámetros EN\_R = 1 y CONT = 1. Para deshacer la conexión ejecute TRCV\_C con el parámetro CONT = 0. La conexión se deshace

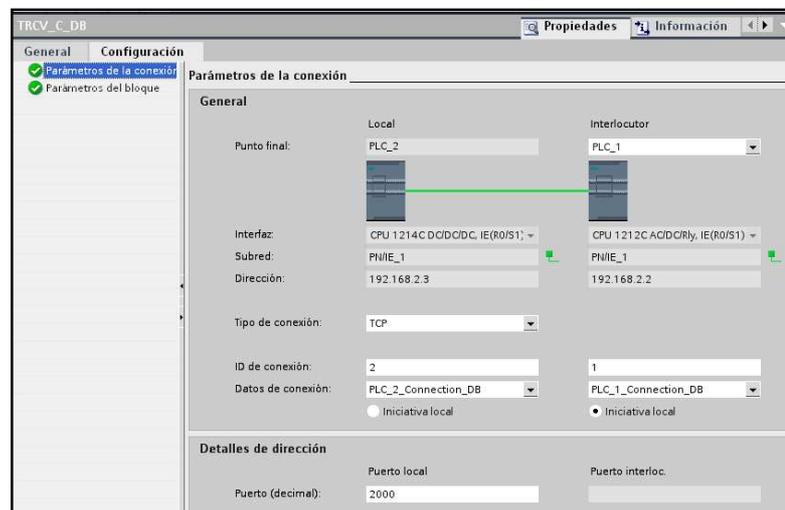
inmediatamente y pueden perderse datos. En la siguiente figura 2.29 se presenta las instrucciones empleadas para enviar y recibir datos.



**Figura 2.23:** Instrucciones TSEND\_C y TRCV\_C, utilizadas para enviar y recibir datos.

*Fuente:* Siemens AG, Manual de sistema, controlador programable S7-1200, Alemania 11/2009, A5E02486683-0.

Cada bloque T, ya sea de transmisión o recepción, posee una ventana de configuración para la comunicación, donde se establecen parámetros de la conexión como: interfaz, subred, dirección IP, tipo de Conexión (Protocolo), entre otros, tanto para la CPU local como para el interlocutor. El detalle se presenta en la siguiente figura 2.24



**Figura 2.24:** Interfaz de configuración de los bloques de transmisión.

### 2.7.3 Comunicación entre dispositivos

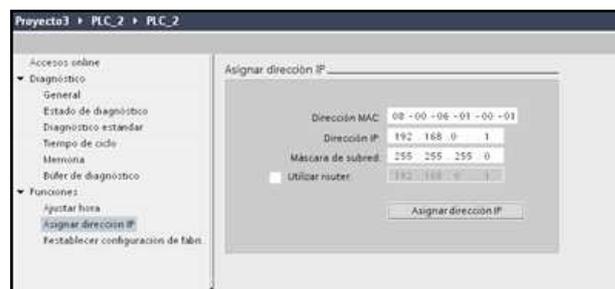
Una CPU puede comunicarse con una programadora con STEP 7 Basic en una red, considerando que para la comunicación entre dos interlocutores no se requiere un

switch Ethernet, si no que el switch Ethernet se requiere sólo si la red comprende más de dos dispositivos.

La conexión de hardware en las interfaces PROFINET establecen las conexiones físicas entre una programadora y una CPU. Puesto que la CPU ofrece la función "auto-crossover", es posible utilizar un cable Ethernet estándar o cruzado ("crossover") para la interfaz, conectando un extremo del cable Ethernet al puerto PROFINET de la CPU y el otro extremo Ethernet a la programadora.

En la comunicación PROFINET a la CPU y programadora se debe asignar direcciones IP (Internet Protocol), considerando que siempre deben pertenecer a la misma subred. En la programadora se asigna en la tarjeta de red incorporada a la LAN de la instalación, la ID de red de la dirección IP y la máscara de subred de la CPU y la tarjeta adaptadora integrada en la programadora deberán ser idénticas. La ID de red es la primera parte de la dirección IP (tres primeros octetos. Ejemplo: 211.154.184.16) y determina la red IP utilizada. Normalmente, la máscara de subred tiene el valor 255.255.255.0. Por otro lado para asignar una dirección IP a una CPU S7-1200 se puede emplear los métodos siguientes:

- a) Asignar una dirección IP online: Es posible asignar una dirección IP a un dispositivo de red online. Esto es especialmente útil al configurar los dispositivos por primera vez. Para asignar una dirección IP online, se procede desde "Accesos online" donde se actualiza los dispositivos accesibles y se busca la tarjeta adaptadora para la red, donde se introduce la nueva dirección IP en el campo "Dirección IP", para detalle se presenta la figura 2.25 siguiente.



**Figura 2.25:** Configuración de la dirección IP en una CPU Simatic S7-1200.

b) Configurar una dirección IP en el proyecto: Luego configurar el rack con la CPU se selecciona el puerto PROFINET, y en la ficha "Propiedades" de la ventana de inspección se muestra el puerto PROFINET, en el que se detallan parámetros como dirección Ethernet MAC (Media Access Control o control de acceso al medio) del fabricante para su identificación y dirección IP (Internet Protocol o Protocolo Internet) que es unívoca para cada dispositivo de la red. Esta dirección permite al dispositivo transferir datos a través de una red enrutada y más compleja.

Es posible asignar máscaras de subred para determinar subredes de dispositivos de una red local pequeña, sin embargo la única conexión entre las diferentes subredes se realiza a través de un router.

#### **2.7.4 Comunicación entre PLCs S7-1200**

Una CPU puede comunicarse con otra CPU utilizando las instrucciones TSEND\_C y TRCV\_C, ya detalladas anteriormente en el punto 2.7.2 en las instrucciones PROFINET; sin embargo, es necesario considerar la capacidad de las funciones soportadas para leer/escribir datos en una CPU interlocutora, subrayando que para la comunicación entre dos interlocutores no se requiere un switch Ethernet, lo que si es necesario si la red comprende más de dos dispositivos.

Entonces se establece la conexión de hardware, donde una interfaz PROFINET establece la conexión física entre dos CPUs, aprovechando que la función "auto-crossover" está integrada en la CPU, es posible utilizar un cable Ethernet estándar o cruzado ("crossover") para la interfaz. Se procede con la configuración de los dispositivos y las conexiones de red lógicas entre dos CPUs, donde además se establece una dirección IP en el proyecto, se dispone de los parámetros de transmisión y recepción que emplea las instrucciones TSEND\_C y TRCV\_C, las misma que deben configurarse en ambas CPUs para habilitar la comunicación entre ellas, y por último debe cargarse la configuración y programación en cada una de las CPUs. Para configurar las conexiones de red lógicas entre dos CPUs se procede a realizar los pasos detallados en la tabla 2.26 presentada a continuación.

Acción	Resultado
Seleccione "Vista de red" para visualizar los dispositivos que deben conectarse.	
Seleccione el puerto de uno de los dispositivos y arrastre la conexión hasta el puerto del otro dispositivo.	
Sulte el botón del ratón para crear la conexión de red.	

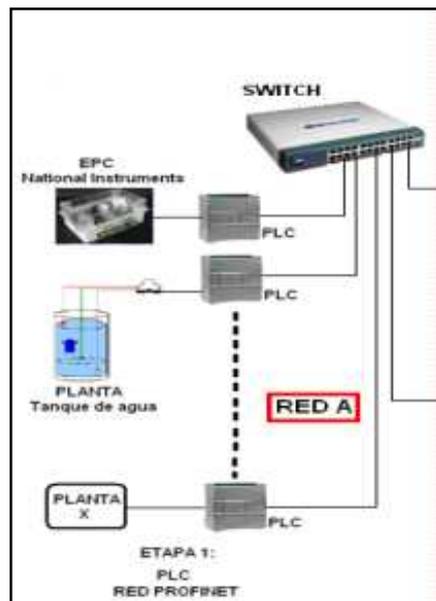
**Tabla 2.8:** Pasos para configurar las conexiones de red lógicas entre dos CPUs.

*Fuente:* Siemens AG, Manual de sistema, controlador programable S7-1200, Alemania 11/2009, A5E02486683-0.

Una consideración de importancia en la comunicación entre CPUs, es un bug (error) que aparece en el STEP 7, al modificar los parámetros de comunicación de los bloques T (TRCV\_C y TSEND\_C). A pesar de guardar los cambios de la configuración de los parámetros de los bloques T en el proyecto, cada vez que se realice un nuevo cambio en cualquier parte del código del PLC, se deben introducir nuevamente estos parámetros de comunicación, porque debido al bug, no se guardan en el proyecto, lo que puede ocasionar que, al grabar esos nuevos cambios en el código, la comunicación entre CPUs deje de funcionar. Se debe entonces configurar nuevamente los parámetros de transmisión y/o recepción, para garantizar la comunicación entre PLCs.

La red PROFINET de los PLCs Simatic S7-1200 de Siemens, para el diseño del laboratorio remoto, se fundamenta en los parámetros expuestos anteriormente y que permiten garantizar la comunicación eficiente entre programadora y CPU. El diseño

de red establece el tipo de comunicación en el que se emplea un switch Ethernet que es el encargado de conmutar las comunicaciones de las CPUs. La combinación de hardware y software se complementa empleando las instrucciones adecuadas para configurar los parámetros que establecen la comunicación. En la figura 2.26 se presenta un esquema básico de la red PROFINET diseñada para el funcionamiento del laboratorio remoto.



**Figura 2.26:** Esquema de la red PROFINET del laboratorio remoto.

La red PROFINET expuesta en la figura 2.26, presenta un diseño escalable y abierto a las aplicaciones específicas que se pueden realizar en un determinado medio, lo que facilita el uso de los dispositivos tecnológicos y el fácil acceso a los mismos. Recalcando que según las capacidades del puerto PROFINET, se puede comunicar hasta con 8 CPUs S7-1200.

Por otra parte, se presenta en el Anexo 2 de la presente monografía de tesis, el código de programación del PLC S7-1200, de la práctica demostrativa de monitoreo y control de temperatura de un invernadero y llenado de un tanque de agua, en el que se integran todos los conceptos y aplicaciones expuestos en este capítulo.

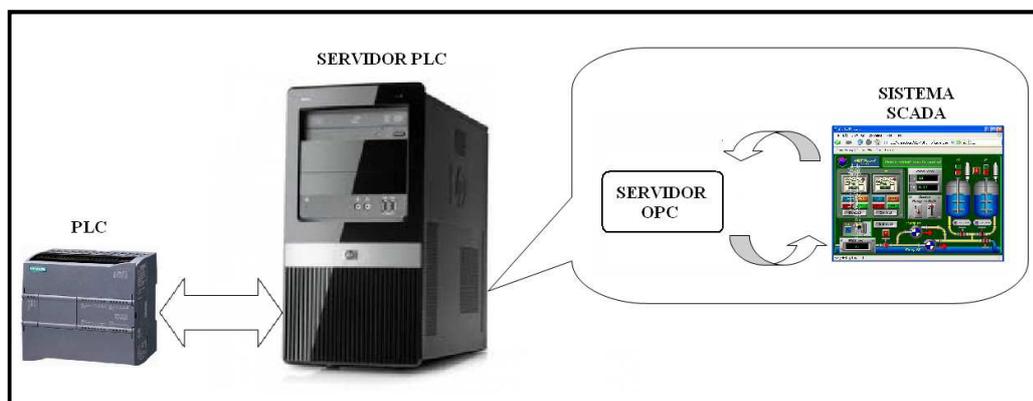
## CAPÍTULO 3

### ETAPA 2. COMUNICACIÓN ENTRE EL PLC S7-1200 Y EL SISTEMA SCADA

#### Introducción

El uso PLC como único dispositivo de control produce ciertas limitaciones que reducen la operatividad y eficiencia del proceso de control, limitaciones como: falta de visualización de los sistemas de adquisición y control, de almacenamientos de datos, de la visualización de gráficas de datos históricos, tablas con alarmas y eventos, permisos y accesos de los operadores a ciertas partes fundamentales del proceso a controlar, etc. Para ello se introducen Sistemas de Monitoreo y Control denominados SCADA, los cuales se comunican con los dispositivos de control como los PLCs, convirtiéndose en un sistema completo de control de lazo cerrado.

La etapa 2 del diseño del laboratorio comprende todas las implementaciones y configuraciones del software necesario para la comunicación entre los PLCs y el Sistema de Monitoreo y Control SCADA. Para que sea posible la comunicación entre el PLC y el SCADA se utiliza un Servidor OPC, encargado de establecer los protocolos necesarios para que estos dos sistemas se entiendan entre sí. En la figura 3.1 se detalla el esquema básico de la Etapa 2 del diseño del laboratorio remoto.



**Figura 3.1:** Esquema básico de la Etapa 2 del diseño del laboratorio remoto.

## **3.1 Servidor OPC**

### **3.1.1 Introducción**

El servidor OPC (Ole for Process Control), es una aplicación de software interfaz con estándar industrial con especificaciones definidas por la OPC Foundation, basado en tecnología OLE, COM y DCOM de Microsoft, limitando su uso en la plataforma de Windows.

La tecnología OPC provee el intercambio de datos en forma estandarizada y simple, para garantizar la transferencia de datos rápida y fiable entre aplicaciones de control y automatización, simplificando la interfaz entre componentes de automatización de distintos fabricantes, sistemas administrativos y de visualización, lo que hacen posible la combinación de hardware de control programable y software sin la necesidad de drivers especiales.

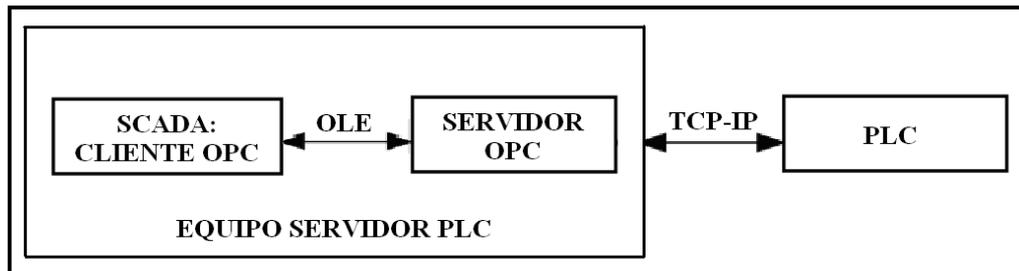
### **3.1.2 Tecnología OLE**

La tecnología OLE (Object Linking and Embedding) es un sistema que permite compartir información entre aplicaciones. Esta información se denomina objeto, y puede insertarse por incrustación y vinculación para incluir en una aplicación dada, información creada en otras aplicaciones. En la incrustación los objetos se vuelven parte del fichero fuente, mientras que la vinculación la información queda guardada en el fichero fuente original, conteniendo únicamente la localización del fichero, aunque sigue visualizada una representación gráfica de los datos vinculados.

### **3.1.3 Comunicación OPC**

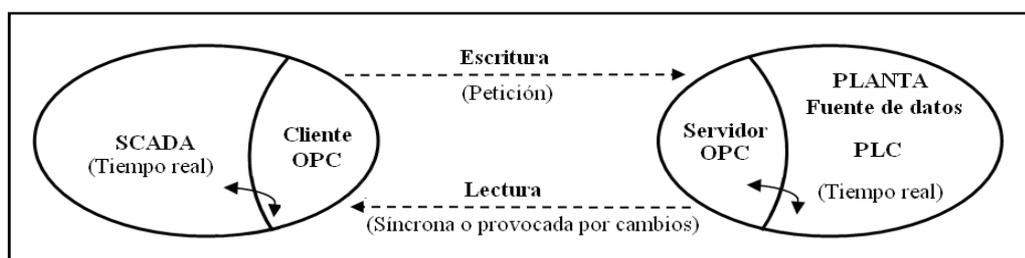
La comunicación OPC establece una arquitectura cliente/servidor, donde el servidor OPC (esclavo) es la fuente de datos como PLCs, DCSs, PACS, módulos I/O, entre otros; y el cliente OPC (maestro) es cualquier aplicación basada en OPC como sistemas SCADA, HMI, etc. Las comunicaciones entre el cliente OPC y el servidor

OPC son bidireccionales, lo que permite al cliente leer y escribir en los dispositivos cualquier variable suministrada por el servidor OPC. El PLC Simatic S7-1200 utiliza el protocolo TCP-IP a través de de la interface PROFINET para comunicarse con la programadora y otros PLCs, de la misma forma se utiliza para la comunicación con servidor OPC. A continuación se presenta en la figura 3.2 la arquitectura de comunicación OPC, empleada en el diseño del laboratorio remoto.



**Figura 3.2:** Arquitectura OPC cliente / servidor.

La tecnología OPC estandariza la comunicación de modo que cualquier servidor OPC y cualquier aplicación OPC pueden trabajar juntos sin inconvenientes, de tal manera el cliente OPC accede a las variables a través de la simulación, y utilizando un explorador consultarlas usando sus nombres naturales o sus tags. Una aplicación cliente OPC, puede comunicarse por medio de una red, a varios servidores OPC proporcionados por uno o más fabricantes, por lo que no existe restricción a tener un software cliente para un software servidor.



**Figura 3.3:** Esquema del enlace de comunicación de un sistema SCADA.

### 3.1.4 Tipos de Servidores OPCs

Actualmente existen varios tipos de servidores OPC definidos por la OPC Foundation, con características que son aprovechadas según la aplicación, y que se detallan a continuación:

- Servidor OPC DA (Acceso a datos): diseñado para la transmisión de datos en tiempo real. Existen variantes como Servidor OPC DX y Servidor OPC SML DA.
- Servidor OPC HDA (Acceso a Datos Historiados): provee una interfaz al cliente OPC que le permite el acceso a datos históricos.
- Servidor OPC A&E Server: provee de interfaces, donde el cliente OPC son notificados de sucesos como alarmas, condiciones y eventos desde el dispositivo hacia el cliente OPC A&E.
- Servidor OPC UA (OPC Arquitectura Unificada): permite a los Servidores OPC trabajar con cualquier tipo de datos. OPC UA integra la funcionalidad de servidores anteriores y hace mucho más sencillo el desarrollo de clientes y servidores OPC.

De los tipos de servidores OPC mencionados anteriormente, los tres primeros se conocen como Servidores OPC "Clásicos", mientras que el OPC UA es un tipo de servidor que engloba características de los tres, y que se convertirá en la base de las futuras arquitecturas OPC.

## **3.2 PC ACCESS: Servidor OPC de Siemens**

### **3.2.1 Introducción**

La cantidad de fabricantes de hardware y software de automatización y control, permiten en la actualidad que exista variedad en drivers de servidores OPC, entre los que se menciona: el PC Access y Simatic NET OPC de Siemens, NI OPC Server de National Instruments, Moscad OPC Server de Motorola, entre otros. Sin embargo, para el diseño del laboratorio remoto se emplea el Servidor OPC PC Access de Siemens, ya que el costo de la licencia de los otros Servidores OPC es elevado por la aplicación en paquete para comunicaciones con varios modelos de marcas diferentes de PLCs.

Como se detalla en el capítulo 2 el PLC Simatic S7-1200, es un autómata programable de última generación, por lo que no existe un Servidor OPC y Servidor Web oficial para esta gama de PLCs por estar en proceso de desarrollo, de tal manera se emplea el Servidor OPC PC Access del PLC S7-200, por las características y prestaciones de compatibilidad con el PLC Simatic S7-1200 de Siemens, pero con ciertos limitantes y una serie de restricciones que hay que tener en cuenta.

### 3.2.2 Configuración del Step 7 Basic

Para poder comunicar el PLC S7-1200 con el Servidor OPC PC Access, es necesario en primer lugar, crear un bloque de datos DB1 en el PLC, ya que desde el sistema SCADA, es el único que permite acceder a variables publicadas por el Servidor OPC PC Access, debido a que el software PC Access fue diseñado originalmente para el S7-200, el cual, contaba con la disposición de un único bloque de datos DB1. Por lo cual, una consideración de suma importancia a resaltar es que, si se crea un bloque de funciones cualquiera al inicio del proyecto en el Step 7 Basic, como por ejemplo la función PID, se creará conjuntamente un bloque de datos (DB) de instancia, que tomaría el nombre DB1, debido a que es el primero en crearse. Por lo tanto, el servidor OPC se comunica únicamente con este DB de instancia del PID, en vez de un bloque de variables general o con cualquier otro DB (DB2, DB3, etc).

Esta es una de las restricciones que se presenta al usar el PC Access como Servidor OPC para el S7-1200. Pero esto, como sencilla solución, es necesario antes de proceder a configurar el Servidor OPC, crear el DB1 al inicio del proyecto, mediante el siguiente procedimiento:

**1) Añadir el bloque de datos DB1 en el proyecto:** Navegar en el "árbol del proyecto" y pulsar sobre el elemento "Añadir nuevo bloque". Pulsar sobre el botón de "Bloque de datos (DB)". Quitar la selección de "Sólo con direccionamiento simbólico" (este es un paso de vital importancia que no se debe omitir). Pulsar en el botón "Aceptar".

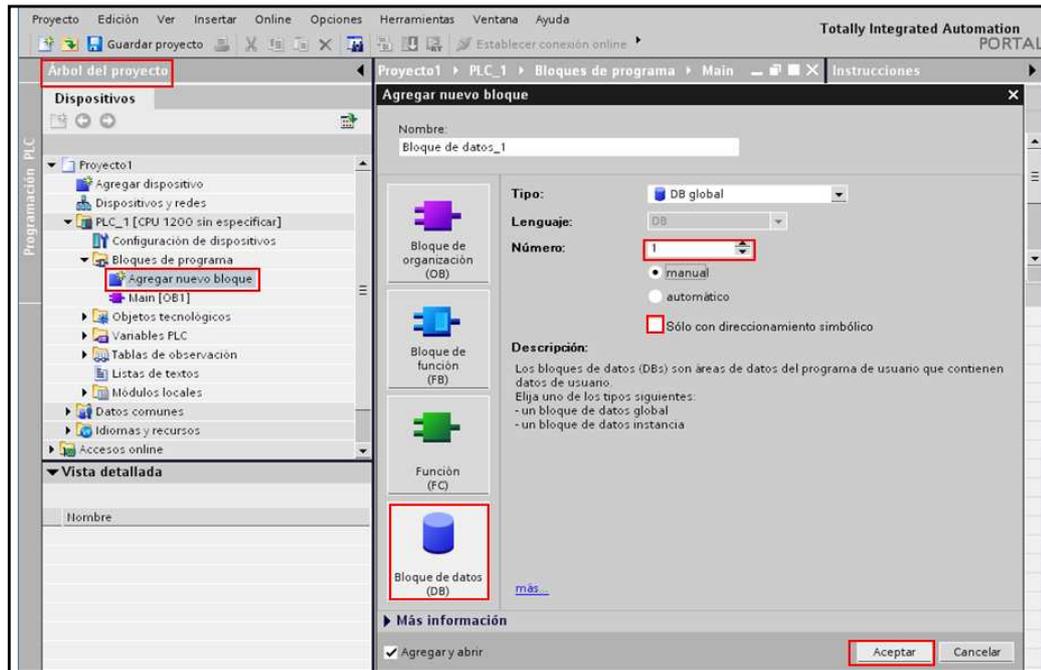


Figura 3.4: Parámetros para crear el bloque de datos DB1 en el software STEP 7 Basic.

**2) Asignar los tags o variables en STEP 7 Basic:** En el DB1, añadir los tags necesarios según la aplicación, bajo un "nombre", "tipo de dato" y un "valor inicial". Para las aplicaciones del diseño del laboratorio remoto, como control PID de temperatura y control PID de velocidad de un motor de corriente continua se crea varias tags, de entre ellas las siguientes:

- Elección\_PWM1: "Bool"
- PID1\_Setpoint: "DWord"
- Time1: "Time"

A continuación "Guardar proyecto" y transferir el proyecto pulsando sobre el botón de transferencia que se encuentra en la barra de herramientas.

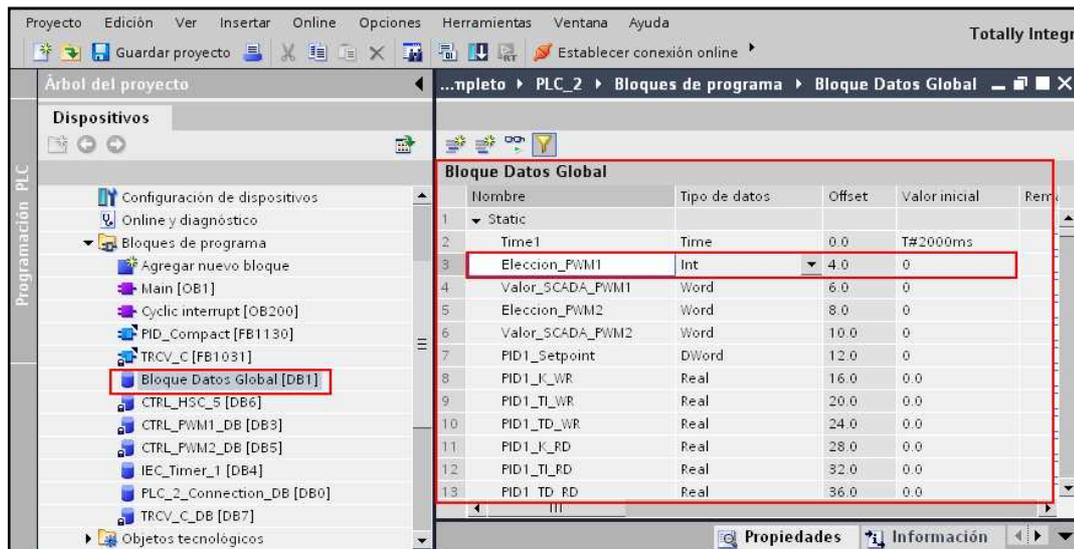


Figura 3.5: Asignación de variables “tags” en el proyecto del STEP 7 Basic.

3) **Supervisar los tags en STEP 7 Basic:** Para hacer una comprobación cruzada de los valores de las variables, usar la función de tabla de observación del STEP 7 Basic. Navegar en el "Arbol del proyecto" para localizar "Agregar nueva tabla de observación" y rellenarla con el "Nombre" y "Dirección" de las variables pertinentes.

- Analoginput\_1: "DB1.IW64"
- Valor\_PWM\_1: "QW1000"

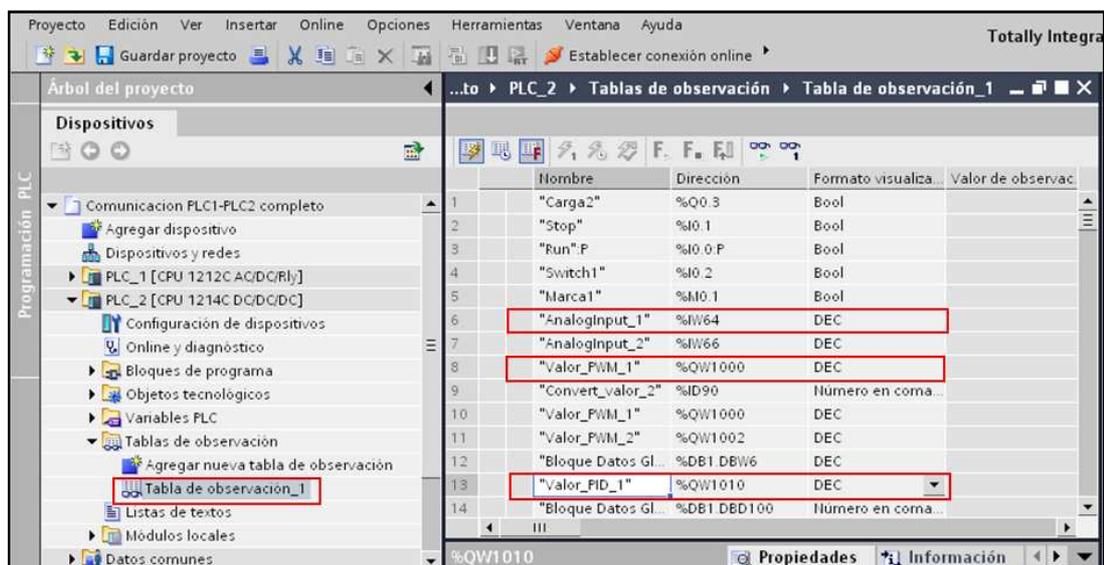


Figura 3.6: Supervisión de variables “tags” en la tabla de observación del STEP 7 Basic.

Una vez creado el bloque de datos DB1 y las variables “tags”, se procede a configurar el Servidor OPC, creando un **nuevo proyecto en el PC Access para**

**acceder a las variables** que deben ser publicadas si se desean controlar o monitorizar por el Sistema SCADA, Al configurar las “tags” se debe tener muy en cuenta el tamaño (Bit, Byte, Word, DWord) y el tipo de dato como Boolean, Integer, Real, Time, etc.

### 3.2.3 Configuración del Servidor PC Access

En el diseño del laboratorio remoto, se aprovecha las características del Servidor OPC PC Access, para permitir la comunicación eficaz del PLC Simatic S7-1200 con los sistemas SCADA de las aplicaciones finales.

Para la configuración del Servidor OCP se deben considerar las siguientes restricciones y requerimientos, debido a que el PC Access se desarrolló originalmente para acceder a un PLC de la gama S7-200, como se explicó anteriormente.

Restricciones:

- Sólo se puede acceder a variables contenidas en el bloque de datos DB1 del PLC del S7-1200 ya que el S7-200 sólo tenía un bloque de datos.
- El DB1 en el PLC del S7-1200 tiene que no ser simbólico.

Requerimientos de hardware y de software:

- PLC S7-1200
- Cable Ethernet
- STEP 7 Basic V10.5
- PC Access V1.0.4.10 (SP4)

Se debe seguir las siguientes instrucciones para establecer una conexión entre el Servidor PC Access y el PLC Simatic S7-1200 y acceder a los datos del PLC.

- 1) **Crear un nuevo proyecto:** Navegar por la barra de menú y seleccionar "Archivo > Nuevo". Se creará un proyecto nuevo.

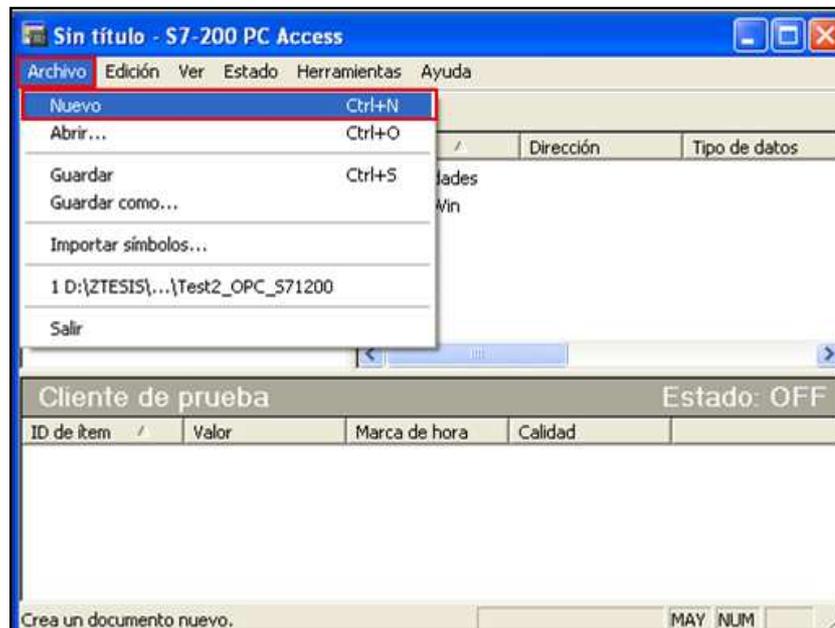
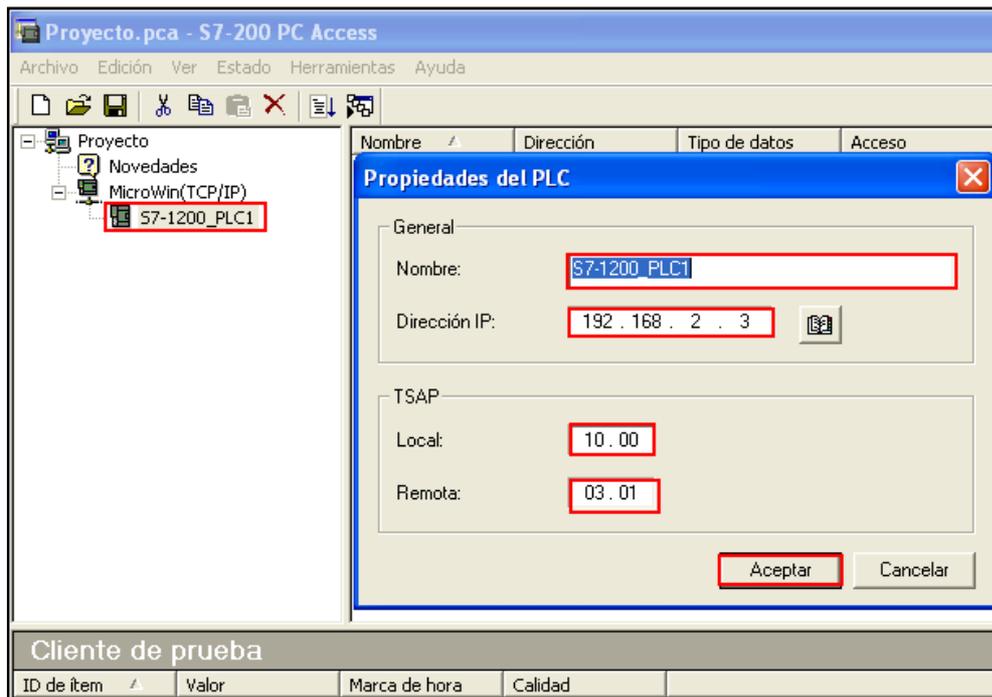


Figura 3.7: Cuadro de diálogo para crear nuevo proyecto OPC en Servidor OPC PC Access.

- 2) **Configurar la Interfaz:** Seleccionar la entrada "MicroWin", dar clic derecho y seleccionar "Interface PG/PC". En la nueva ventana que aparece seleccionar la tarjeta de red propia del computador que indique la utilización del protocolo TCP/IP y aceptar los cambios.

- 3) **Añadir un nuevo PLC:** Se utiliza para añadir nuevos PLCs al proyecto. Seleccionar la entrada "MicroWin (TCP/IP)" en el "árbol del proyecto". Navegar por la barra de menú y seleccionar "Editar > Nuevo > PLC". Se añadirá un objeto "Nuevo PLC" y se abrirá la ventana del cuadro de diálogo "Propiedades del PLC" del nuevo PLC. Introducir los siguientes parámetros en los campos de entrada de esta ventana:

- Nombre: "S7-1200\_PLC1" (nombre simbólico que se quiera dar al PLC)
- Dirección IP: "192.168.2.3" (dirección IP del PLC del S7-1200)
- TSAP Local: "10.00." (TSAP en el PLC del S7-1200)
- TSAP Remoto: "03.01." (TSAP del PC Access)



**Figura 3.8:** Configuración de las propiedades del nuevo PLC en Servidor OPC PC Access.

Si se requiere tener comunicación OPC con más de un PLC, se repite el anterior paso cambiando el nombre simbólico del PLC y colocando la respectiva dirección IP. El TSAP tanto local como remoto siempre tienen esos valores constantes. Se realiza este procedimiento tantos PLCs nuevos se quieran añadir al proyecto.

**4) Añadir un nuevo ítem:** Se utiliza para añadir las “tags” entre el S7-1200 y el Servidor OPC. En el S7-1200\_PLC1 en el “árbol del proyecto”, en la barra de menú seleccionar “Editar > Nuevo > Ítem”. Se abrirá la ventana del cuadro de diálogo “Propiedades de ítem”, se debe considerar los elementos accesibles. Para acceder a datos en el PLC del S7-1200 hay que realizar los siguientes pasos:

- Introducir un nombre simbólico para la variable en el campo de entrada “Nombre:”.
- Introducir la dirección de la variable en el campo de entrada “Dirección:”.
- Seleccionar el tipo de dato en el campo de entrada “Tipo de dato”.
- Restringir el acceso a la dirección de memoria para sólo “lectura” o sólo “escritura”.

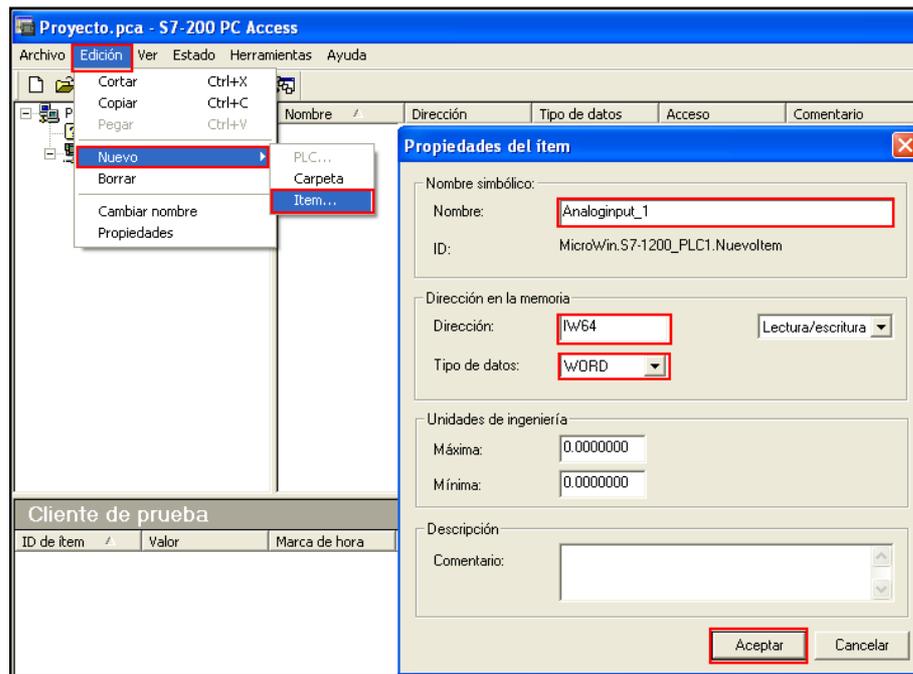


Figura 3.9: Cuadro de diálogo para crear nuevo ítem (variable) en Servidor OPC PC Access.

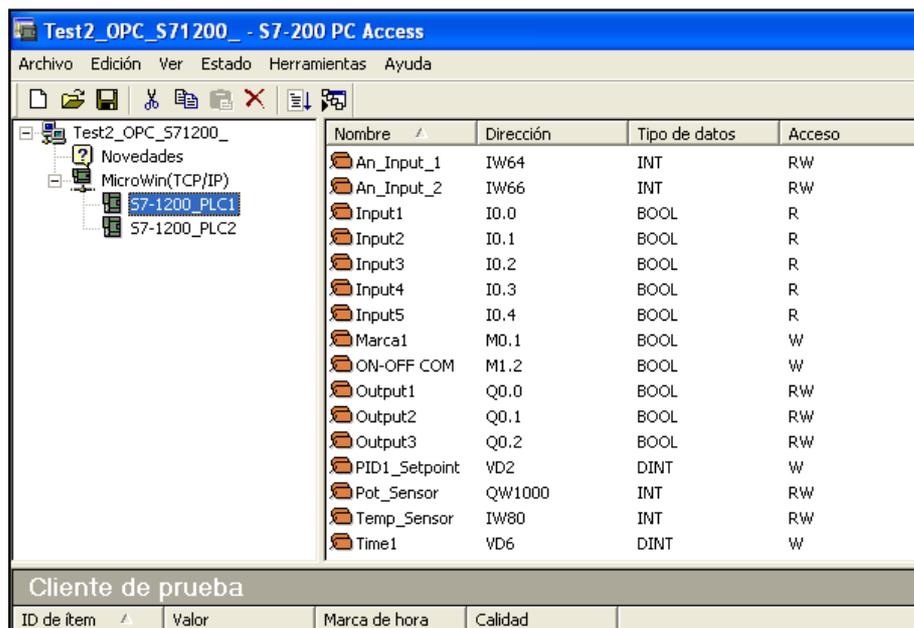


Figura 3.10: Ítems del S7-1200\_PLC1, en la aplicación del diseño del laboratorio remoto.

Una consideración muy importante es que el formato y dirección de la variable configurada en el PLC mediante el Software STEP 7 Basic, debe corresponder con el formato y dirección declarada en el Servidor OPC. Como el PC Access estaba destinado originalmente para el S7-200, el cual por sus inferiores capacidades no soportaba ciertos tipos de formatos de variables como los que soporta el S7-1200. Ejemplo de esto es el formato “Time”. Esto no supone ningún problema, ya que el

formato time corresponde a un formato Doble Entero (Doble Integer) de 32 bits de tamaño, lo único que se tiene que hacer para solucionar este inconveniente es colocar el formato de esa variable en el PC Access como "DINT" (Doble Integer), y así se sigue una lógica similar para otros tipos de variables que no estén incluidos directamente en el PC Access.

Las entradas (I), salidas (Q) y marcas (M) del S7-1200 se pueden leer directamente a través del Servidor OPC PC Access, pero hasta una cierta dirección, ya que la capacidad de memoria es distinta a la del S7-200; de igual forma para las variables generales del bloque de datos DB1. La identificación de las variables con I, Q y M es igual entre el Step7 Basic y el PC Access, sin embargo; para las variables del DB1 se identifica con la letra "V" en el PC Access.

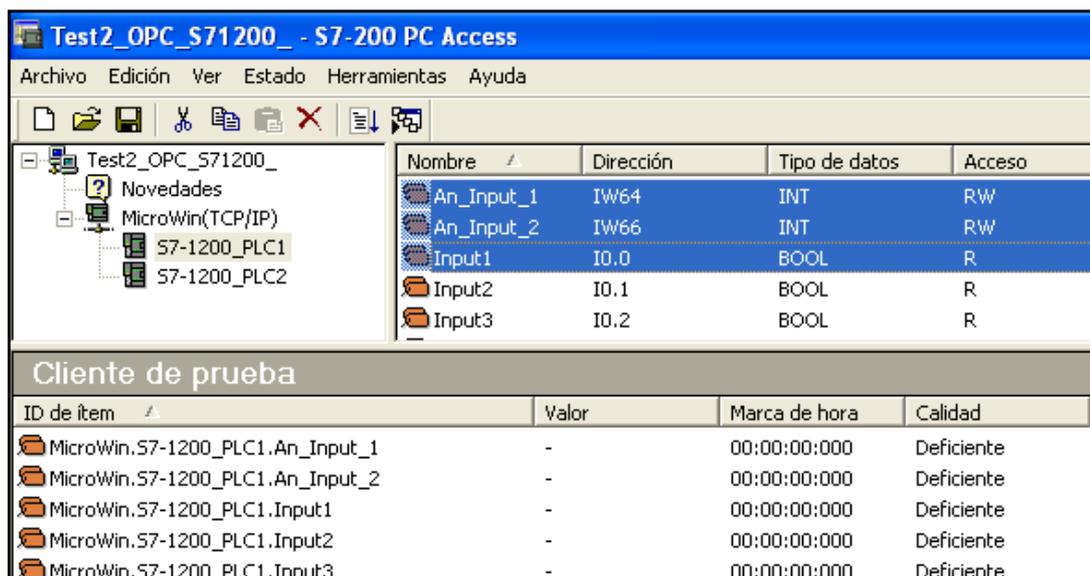
Para la comunicación del Servidor OPC con otras variables distintas a las I, Q, M y DB1 del PLC como las variables de los DBs de instancia de funciones lógicas como temporizadores, contadores, objetos tecnológicos PID, etc., se ha de considerar también, generar unas variables de intercambio en el DB1 y generar un programa de transferencia en el código del programa de usuario del PLC (LADDER); para que realice la transferencia de información de una variable a otra, entre el bloque de datos DB1, y los otros bloques de datos del PLC S7-1200. De igual manera se debe realizar con los bloques de instancia de las funciones tecnológicas como la aplicación PID, ya que es la única forma de acceder a esas variables en el PLC por parte del Servidor OPC "PC Access", para el sistema SCADA.

**5) Guardar el proyecto:** Navegar por la barra de menú y seleccionar "Archivo > Guardar" para guardar el proyecto cada vez que se abra o edite un proyecto de PC Access, y enviar las configuraciones de variables al servidor.



**Figura 3.11:** Cuadro de diálogo para guardar el proyecto OPC en Servidor OPC PC Access.

- 6) **Supervisar ítems a través del Cliente de Prueba:** Seleccionar los elementos que se desean supervisar y pulsar sobre el botón "Añadir elementos actuales al cliente de prueba" en la barra de herramientas.



**Figura 3.12:** Selección de ítems a cliente de prueba en Servidor OPC PC Access.

- 7) **Iniciar el cliente de prueba:** Pulsar sobre el botón "Iniciar cliente de prueba" en la barra de herramientas. El cliente de prueba se pondrá en línea y accederá a los datos designados y en la columna "Valor" se ven los valores actuales de los elementos enumerados. Si está conectado al PLC del S7-1200, la "Calidad" del elemento se designará como "Buena".

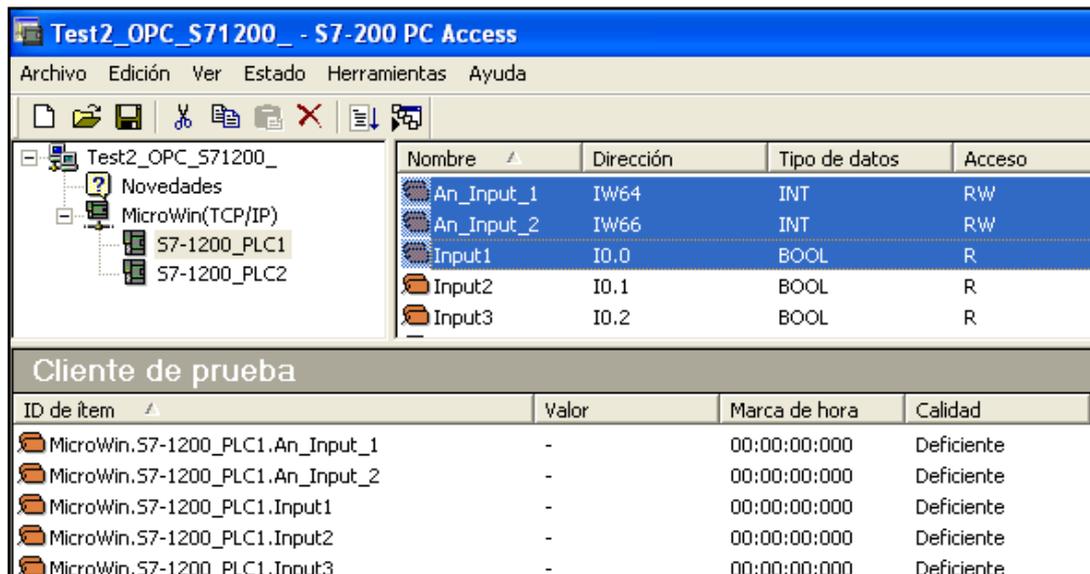


Figura 3.13: Supervisión de los ítems en cliente de prueba en Servidor OPC PC Access.

El procedimiento anterior y las imágenes, detallan la configuración del Servidor OPC PC Access de Siemens, para la comunicación con el PLC Simatic S7-1200 previo a la comunicación con el sistema SCADA.

### 3.3 Cliente OPC

#### 3.3.1 Introducción

En el diseño del laboratorio remoto, dentro de la comunicación con los autómatas programables a través de la tecnología OPC, se designa como cliente OPC, un Sistema de Monitoreo y Control denominado SCADA, que intercambia datos e información de manera ágil y fiable, para supervisar y controlar procesos de automatización y control de una planta, a través de los PLCs Simatic S7-1200.

#### 3.3.2 Sistema SCADA

SCADA, es la abreviatura de "Supervisory Control And Data Acquisition", que en su traducción significa "Adquisición de Datos y Control de Supervisión.". Este sistema en general emplea equipos como computadores de control y tecnologías de

comunicaciones para monitorizar y controlar procesos industriales, a través de la recolección de información del proceso productivo de las numerosas unidades remotas (RTUs) como PLCs, DCSs, módulos I/O, etc. Además gestiona la información y la presenta de manera sencilla de leer, a diversos usuarios con niveles jerárquicos como operadores y supervisores dentro de la entidad.

Un sistema SCADA debe proporcionar funciones que permita desarrollar prestaciones específicas según la aplicación requerida, estas son:

- Posibilidad de crear paneles de alarma, para reconocer una parada o situación de alarma, con registro de incidencias.
- Generación de históricos de señal de planta, para proceso sobre una hoja de cálculo.
- Ejecución de programas, que modifican o incluso anulan las tareas asociadas al PLC, bajo ciertas condiciones.

Se debe tomar en cuenta la finalidad de uso del sistema y tener presente ciertos requisitos básicos, para cumplir con objetivos que aprovechen las ventajas del sistema, como por ejemplo:

- El sistema debe tener arquitectura abierta, permitir su crecimiento y expansión, así como adecuarse a las necesidades futuras del proceso y de la planta.
- La programación e instalación no debe presentar mayor dificultad, debe contar con interfaces gráficas que muestren un esquema básico y real del proceso.
- Deben permitir la adquisición de datos de todo equipo, así como la comunicación a nivel interno y externo (redes locales y de gestión).
- Deben ser programas sencillos de instalar, sin excesivas exigencias de hardware, y fáciles de utilizar, con interfaces amigables para el usuario.

Además un sistema SCADA debe permitir definir la configuración del entorno de trabajo, realizar un interfaz gráfico del operador, ejecutar acciones de mando, gestionar y archivar datos, de forma que otra aplicación o dispositivo pueda tener acceso a ellos y transferir la información a través de las comunicaciones.

En la industria existe variedad de software SCADA presentados normalmente por proveedores de PLCs, por lo que se debe considerar la compatibilidad con el entorno en el cual va a implementarse. Las diferencias que se encuentran entre los distintos SCADA son sobretodo el límite de variables que el programa puede leer en tiempo real. De esta manera se debe elegir un SCADA según las características y limitaciones del proceso a controlar. Entre los más conocidos se encuentran:

- LabVIEW DSC Module de National Instruments.
- InTouch de LOGITEK.
- WinCC de Siemens.
- CUBE de Orsi España S. A.

Dentro del diseño del laboratorio remoto, el sistema SCADA se constituye por el hardware que accede a las señales de entrada y salida, equipos de comunicaciones, redes de controladores, servidores y usuarios, e interfaz de usuario (HMI) a través del explorador web y todo el software necesario que permite el funcionamiento adecuado particular y global. Esto permite realizar con intervención de los usuarios, la programación y cambio de configuraciones del PLC Simatic S7-1200, para que a través del sistema SCADA se reciba datos de lectura de los estados de sensores, contadores u otros dispositivos, que permitan monitorear y controlar en tiempo real las aplicaciones realizadas como prácticas educativas.

El cliente OPC en el diseño del laboratorio remoto es el sistema SCADA desarrollado en la plataforma LabVIEW, ya que en este software es posible programar y configurar cualquier controlador lógico programable (PLC), por permitir emplear gran variedad de la tecnología OPC.

LabVIEW es una herramienta diseñada especialmente para monitorizar, controlar, automatizar y realizar cálculos complejos de señales analógicas y digitales adquiridas a través de tarjetas de adquisición de datos, PLCs, etc. Es un lenguaje de programación multiplataforma totalmente gráfico, facilitando de así el entendimiento y manejo de dicho lenguaje para el diseñador y programador de aplicaciones tipo SCADA.

Dispone de un Módulo DSC (Datalogging supervisory control), toolkit especialmente diseñado para desarrollar sistemas SCADA, es una poderosa herramienta de software (HMI y SCADA) de fácil uso para la automatización industrial. Con el módulo DSC se puede crear representaciones gráficas sobre la pantalla de una computadora de dispositivos reales tales como interruptores, escalas gráficas, registradores de eventos, botones pulsadores, perillas, etc., y después enlazar sus imágenes a los actuales instrumentos de campo usando PLCs, RTUs, tarjetas DAQ, u otros dispositivos de E/S.

El módulo DSC de LabVIEW, extiende los beneficios de la programación gráfica para el desarrollo de sistemas HMI / SCADA de forma interactiva. Este módulo incluye herramientas con soporte para protocolos de uso industrial, incluyendo OLE for Process Control (OPC), que permite que una aplicación pueda comunicarse con prácticamente todos los PLCs y controladores de automatización programables, para el diseño con el PLC Simatic S7-1200. Esto amplía la flexibilidad de integración de LabVIEW en los actuales sistemas SCADA / HMI, lo que genera ventajas de utilización de registros en bases de datos históricos, gestión de alarmas y eventos, y el desarrollo de HMI dentro de un único entorno de programación.

Por otro lado, LabVIEW permite la visualización de los sistemas SCADA por Web, cualquier sistema se puede convertir en una aplicación remota accesada a través de un navegador Web. Ofrece aplicaciones como web server, acceso a paneles remotos y variables compartidas, donde se utiliza cualquier tecnología de cliente basado en Web, tales como HTML, Java Script y Adobe Flash.

LabVIEW incorpora las tecnologías Web más recientes para publicar datos en un reporte de Web estático, compartir datos con transferencia entre computadores para almacenamiento, procesamiento o monitoreo adicional, y control remoto que habilita y controla remotamente equipos, donde se monitorea y controla aplicaciones que permitan comunicarse desde cualquier dispositivo habilitado para la Web, establecerla comunicación de máquina a máquina utilizando protocolos estándar como HTTP, y control de aplicaciones de LabVIEW utilizando clientes personalizados.

En el diseño del laboratorio se elige a LabVIEW versión 2009, como plataforma de desarrollo de los sistemas SCADA por sus ventajas de programación, así como las ventajas de las aplicaciones web para la visualización remota.

### 3.3.3 Configuración de LabVIEW como cliente OPC

En el diseño del laboratorio remoto se designa a la plataforma de LabVIEW como cliente OPC, por las facilidades de configuración y comunicación OPC, las ventajas que ofrece este software en el desarrollo de los sistemas SCADA, a demás de las herramientas para la visualización remota de los Sistemas SCADA a través de un navegador web, que serán detalladas en el capítulo siguiente.

Como primer requerimiento es necesario instalar el Módulo DSC de LabVIEW, el cual, contiene todas las herramientas y funciones necesarias que permiten a LabVIEW configurarse como cliente OPC, de igual manera ser utilizado como plataforma de diseño del sistema SCADA. Una vez instalado y configurado el servidor OPC “PC Access”, para la configuración de LabVIEW como cliente OPC se procede de la siguiente manera:

- 1) **Conectar LabVIEW al PLC utilizando un servidor I/O:** Se debe crear un nuevo proyecto en LabVIEW, En la ventana LabVIEW Project, hacer clic derecho en My Computer y seleccionar New » I/O Server, tal como se muestra a continuación en la figura 3.14.

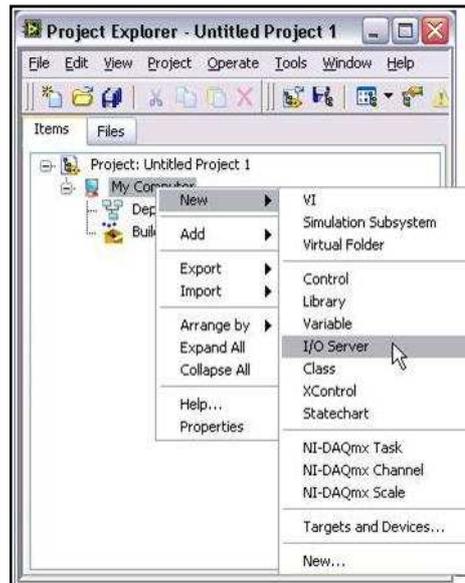


Figura 3.14 Creación de Nuevo Servidor I/O en un proyecto de LabVIEW.

Se abre una nueva ventana donde se muestran todos los servidores OPC registrados en el computador. A continuación se selecciona el cliente OPC I/O Server, dentro del campo Registered OPC servers, elegir S7-200.OPCServer (PC Access), ajustar el parámetro de Update rate con un valor de 100 ms. Esto crea una conexión de LabVIEW hacia las etiquetas del OPC, las cuales se actualizarán cada 100ms, tal como se detalla en la figura 3.15. Concluido esto se procede a Guardar el proyecto.

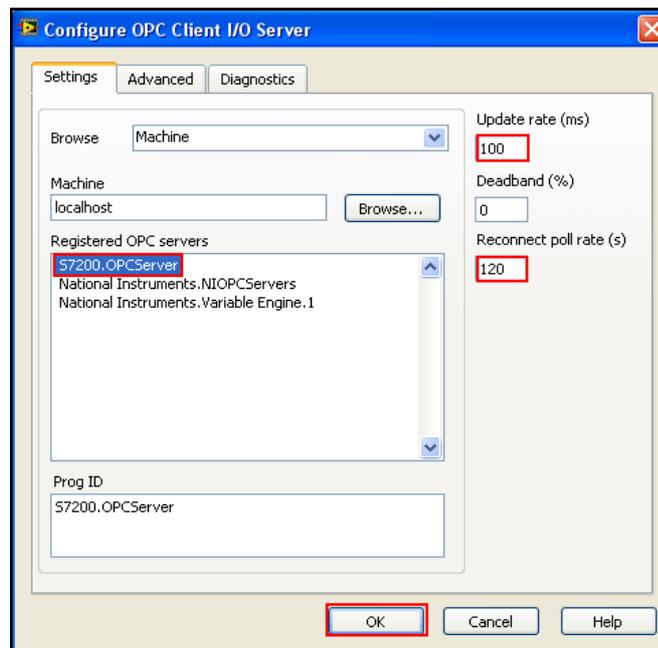


Figura 3.15: Configuración del cliente OPC en LabVIEW.

## 2) Creación de variables compartidas que conectan las etiquetas OPC al I/O

**Server:** Para completar la comunicación OPC del PLC y darle acceso nativo a LabVIEW a los datos, se procede a crear variables compartidas que se conectan con las “tags” OPC del PLC, y se almacenan en una nueva librería de variables compartidas en el proyecto de LabVIEW. Con las variables compartidas se comparte datos a través de los usos de LabVIEW en una sola computadora o a través de la red.

Se procede en la ventana LabVIEW Project, clic derecho en My Computer y seleccionar **New » Library**, se crea una nueva librería de variables compartidas. A continuación Clic derecho en la nueva librería y seleccionar **Create Bound Variables.**, como se detalla en la figura 3.16, a continuación presentada.

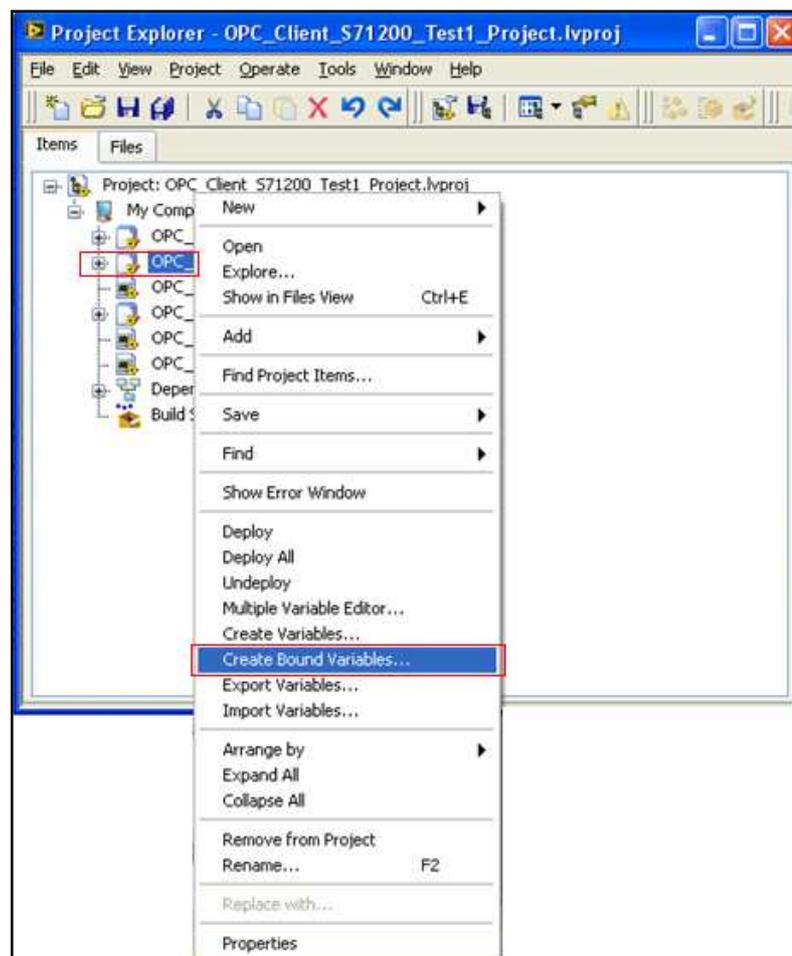
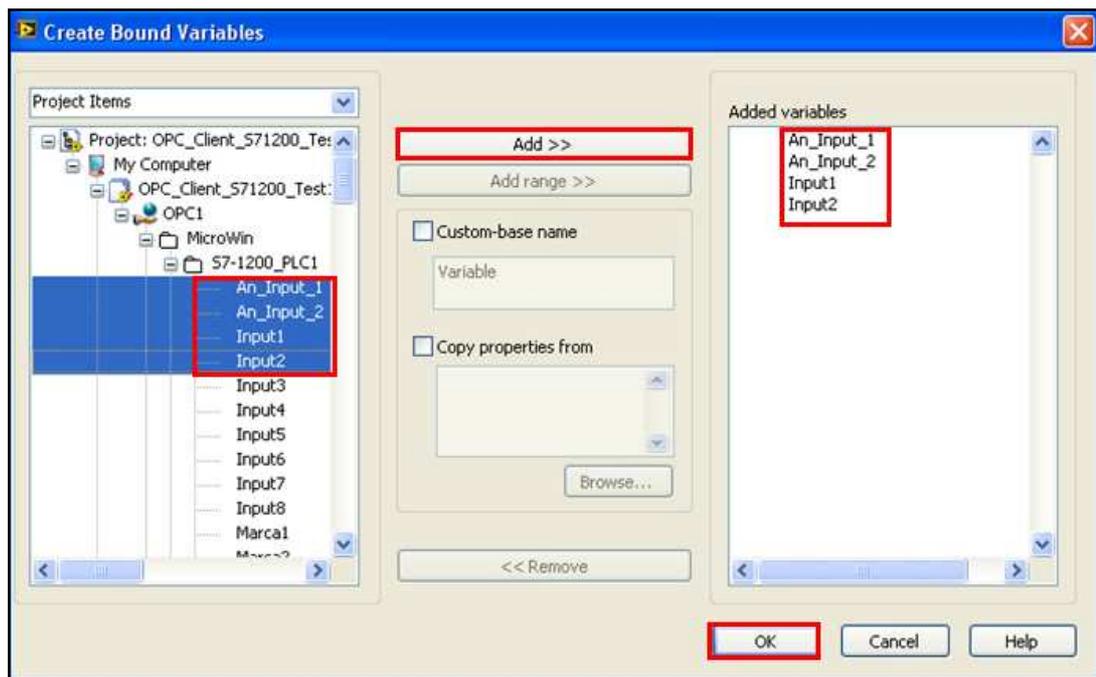


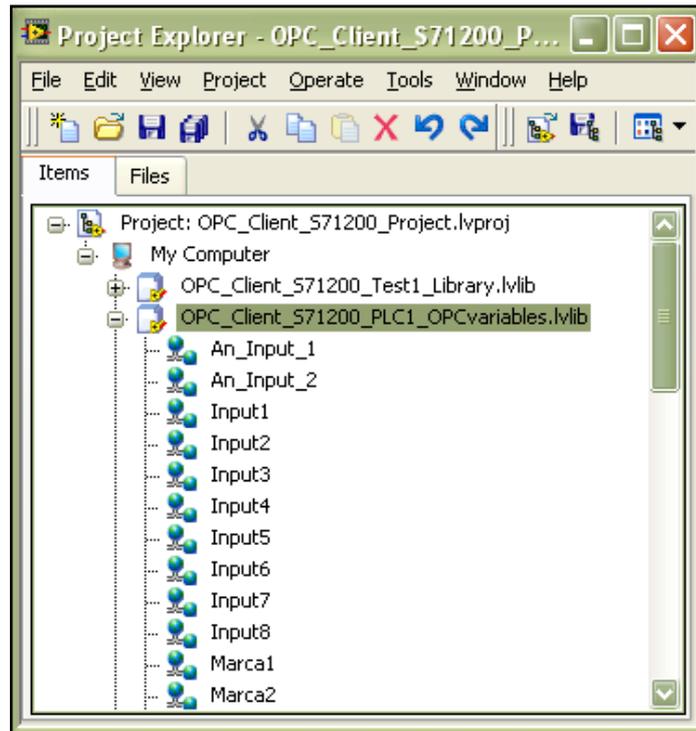
Figura 3.16: Ventana para crear las variables compartidas, dentro de la librería.

Aparece entonces la ventana **Create Bound Variables**, la cual se utiliza para crear variables compartidas a partir de las etiquetas del OPC. En la parte izquierda, se ubica la dirección de las variables del PLC publicadas por el servidor OPC, se selecciona las etiquetas del OPC que se quieran utilizar para crear las variables compartidas, a través de la opción **Add>>**, como se observa en la figura 3.17 siguiente. Se resalta que si se tienen más de un PLC registrado en el servidor OPC, las tags respectivas de cada PLC igual aparecen en la parte izquierda de la ventana.



**Figura 3.17:** Ventana para crear variables compartidas a partir de las etiquetas publicadas por el Servidor OPC.

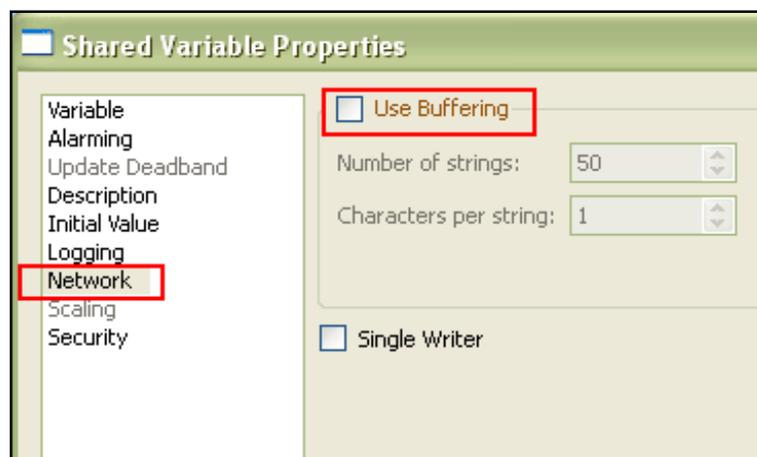
Una vez seleccionado la opción **OK**, se abre el **Múltiple Variable Editor**, con todas las variables compartidas que se crearon. Este editor permite configurar diferentes opciones para las variables, como: tipo de dato (Int, Booleano, etc.), uso de Buffering, tamaño del buffer, permisos de escritura y/o lectura, activación de eventos de Alarmas, activación de Logging (opción añadida por el módulo DSC para la realización de un historial de valores de la variable), habilitar seguridad, entre otros. Cuando ya se hayan configurado todas las opciones que se necesiten se selecciona el botón **Done**, para añadir a la librería las variables compartidas creadas anteriormente. El resultado se muestra en detalle en la figura 3.18 a continuación presentada. Con esto ya se tiene todas las variables listas para a continuación diseñar el Sistema SCADA.



**Figura 3.18:** Librería de variables compartidas para el sistema SCADA.

Este procedimiento se repite las veces que se requiera para añadir nuevas variables a la misma librería ya creada, o a otra si se lo desea. Se debe tomar en cuenta, que las nuevas variables que se añadan deben constar primero en el proyecto del PC Access, para ser conectadas a las variables compartidas para su uso en el Sistema SCADA.

Las propiedades de las variables compartidas no solo se pueden modificar con el Múltiple Variable Editor, sino directamente. Para esto, clic derecho en la ventana de proyecto, en la variable que se quiera modificar, se abre una nueva ventana con las propiedades de la variable compartida. En la figura 3.19 se presenta el detalle.



**Figura 3.19:** Ventana de propiedades de las variables compartidas.

A continuación se selecciona la librería que contiene las variables compartidas, hacer clic derecho y seleccionar la opción **Deploy All**, para publicar todas y hacerlas disponibles para otras redes, clientes OPC, etc. Con lo cual, se puede acceder a los datos nativos del PLC Simatic S7-1200, que como se aclaró inicialmente las variables deben ser publicadas en el bloque de datos DB1 o ser I, Q o M, ya que pueden ser escritas/leídas directamente. Se procede a guardar el proyecto y la librería de variables compartidas, respaldo así la información y configuración.

**3) Visualizar e interactuar con las variables compartidas a través del Distributed System Manager:** Las variables compartidas que están actualizando sus datos, se publican en el NI Distributed System Manager (Desde Project Explorer, seleccione Tools » Distributed System Manager), el cual, permite manejar las variables compartidas de diferentes maneras, y que a su vez puede funcionar como un cliente OPC de prueba, no solo para las variables publicadas por el Servidor OPC si no por cualquier variable de red publicada por LabVIEW. En la figura 3.20, se presenta el detalle.

Si se tiene varias librerías con diferentes variables compartidas, estas igual se visualizarán en el Distributed System Manager.

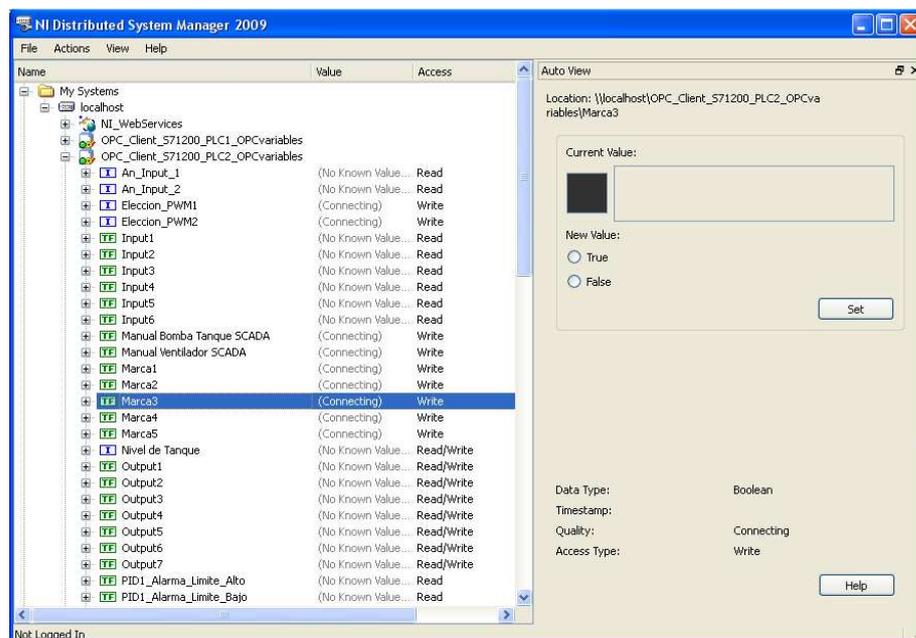


Figura 3.20: Ventana del NI Distributed System Manager en LabVIEW.

### 3.4 Desarrollo del Sistema SCADA

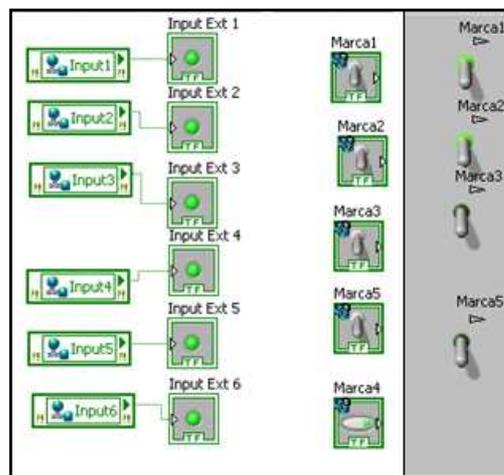
El modulo DSC de LabVIEW 2009, como ya se ha mencionando anteriormente, provee herramientas fundamentales para el desarrollo de aplicaciones SCADA, como: elementos interactivos y editables como válvulas, tanques, etc, sistemas de registro de datos históricos, control sistemático y configurable de eventos de alarmas desde unas cuantas hasta decenas de variables compartidas, sistemas de seguridad de datos y generación de reportes, etc. A demás de todas las funcionalidades y características que proporciona LabVIEW que lo hacen un único sistema multiplataforma de desarrollo y programación, opciones como la visualización remota de VIs, a través de un navegador web, la cual, es una parte fundamental en el diseño del laboratorio remoto.

Para el desarrollo del sistema SCADA se crea un nuevo VI, en el proyecto de LabVIEW que contiene las librerías de variables compartidas. Se emplea los conceptos de programación y todas las herramientas que proporciona LabVIEW, donde se consideran utilidades como las siguientes:

- Emplear necesariamente un While Loop con tiempo de espera, no menor al tiempo programado de actualización en el I/O Server del cliente OPC. Esto para que no se den problemas de ejecución continúa de código antes de las actualizaciones las variables del PLC en comunicación con el Servidor OPC.
- Arrastrar la variable compartida desde la ventana del proyecto hasta el diagrama de bloques, para crear una variable que puede ser manipulada en la programación. Para la utilización de este tipo de variables es fundamental desactivar la opción de buffering, en las propiedades de la variable compartida, para evitar problemas de retardo o latencias, especialmente en variables de tipo escritura. Esto se aconseja para variables donde el uso de un buffer de almacenamiento de datos no sea indispensable.
- Emplear “Data Binding Front Panel”, para arrastrar la variable del proyecto al panel frontal del VI, las cuales se distinguen por una marca tipo triángulo que se crea en la parte superior derecha de la variable. Es otra forma de crear una

variable que puede ser manipulada en la programación, al igual que la variable compartida, pero con la particularidad que la escritura de las variables del PLC no sufre retardos, latencias o problemas de buffer. Esto se determinó por procesos de prueba y error, en la realización de sistemas SCADA de prueba.

De lo anterior se recomienda que las variables de escritura se creen por “Data Binding Front Panel”, mientras que a las variables de lectura sean por “Shared Variable” o variables compartidas. En la figura 3.21 se presenta un ejemplo de las dos aplicaciones con las variables compartidas.



**Figura 3.21:** Aplicación de “Data Binding Front Panel”, y “Shared Variable”.

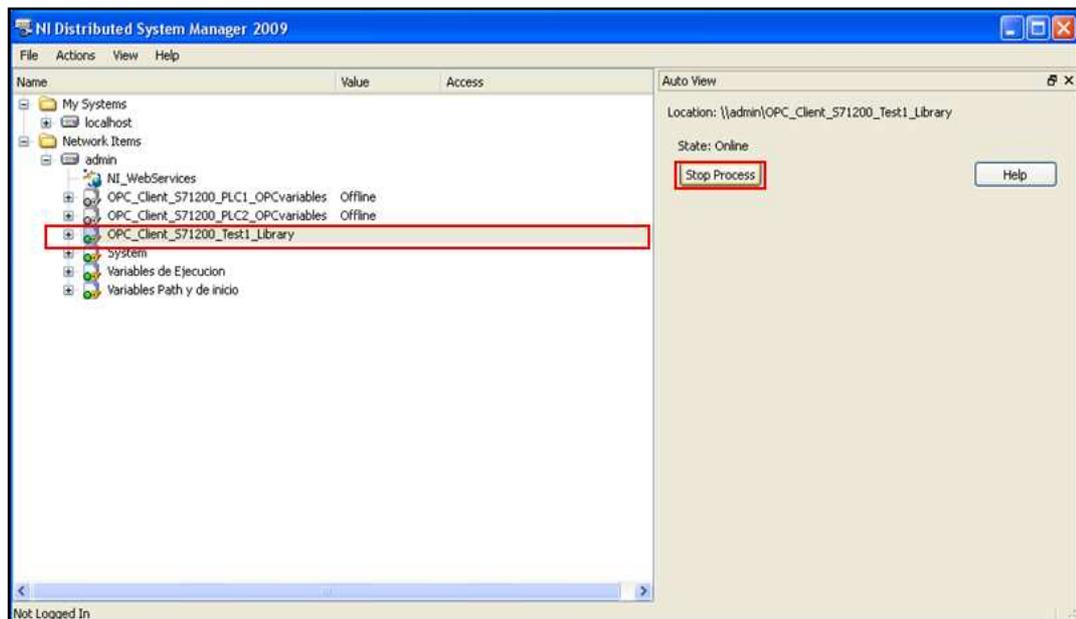
- Otra recomendación indispensable para evitar los retardos de comunicación es, que no se ejecuten códigos de programación extensos en el sistema SCADA, sobre todo lo relacionado con sensores y actuadores rápidos; deben incluirse únicamente variables de monitoreo y control de ejecución rápida, ejemplo de esto es el código utilizado para el control PID, donde el tiempo entre lectura y acción es crítico para el correcto funcionamiento.

Con un código eficaz y bien estructurado no se notan ningún tipo de latencia, sin embargo; con códigos con muchas operaciones innecesarias y reiterativas, así como una mala estructuración puede producir latencias tan notorias que pueden influir críticamente en la medida y correcto desempeño del sistema. Es por eso, que se recomienda que un código complejo de este tipo como un control PID, si no se dispone de un conocimiento en cómo influirá en el sistema se realice en la

programación interna de los dispositivos de control, en este caso en el PLC, para obtener lecturas de datos en tiempo real, o lo más aproximados a posible.

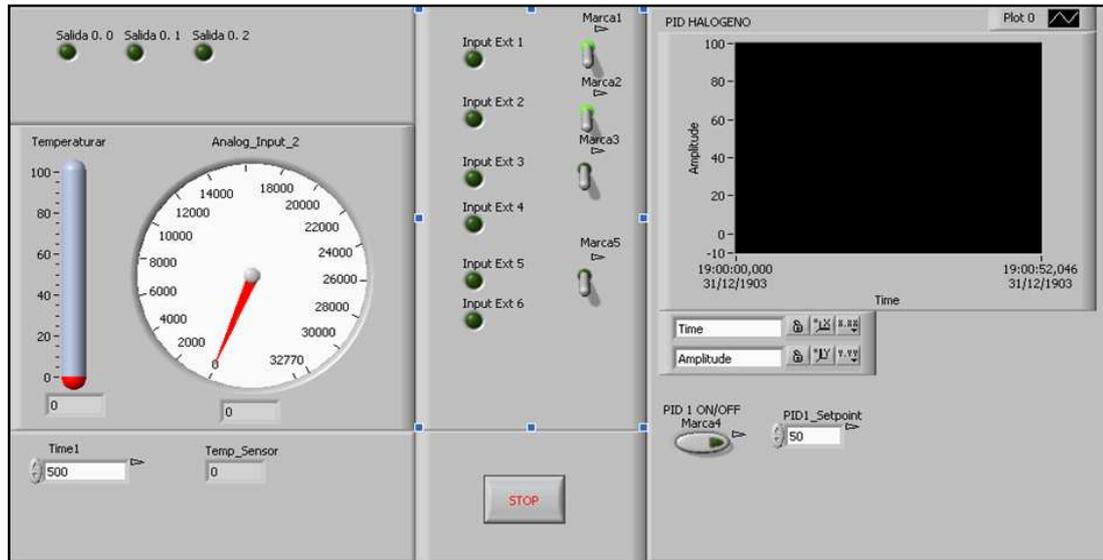
Un punto a resaltar es que una vez ejecutado el sistema SCADA desarrollado en LabVIEW, permanece activado el servidor OPC, inclusive después de cerrar el programa LabVIEW o reiniciar la computadora. Debido a esto el PC Access no permite guardar nuevos cambios en el proyecto (creación de nuevas tags), ya que el Servidor OPC sigue ejecutando una aplicación de LabVIEW en segundo plano. Para solucionar esto se requiere iniciar el “Distributed System Manager” y en cada librería que contengan variables compartidas conectadas con las etiquetas OPC, se debe ejecutar el botón “Stop Process”, para parar la ejecución del servidor OPC en segundo plano y poder realizar nuevos cambios en él, tal como se muestra en la figura 3.22.

No es necesario volver activar el proceso en el Distributed System Manager, basta con ejecutar el VI del SCADA para que se reanude el servidor OPC, pero si nuevamente se tienen que realizar cambios en este, se tiene que realizar este procedimiento nuevamente.



**Figura 3.22:** Detención del Servidor OPC en el Distributed System Manager en LabVIEW.

Como parte de la demostración de funcionamiento del diseño del laboratorio remoto, a continuación en la figura 3.23 se presenta el panel frontal del sistema SCADA desarrollado en LabVIEW, de la aplicación de control PID de temperatura y de velocidad de un motor de corriente continua.



**Figura 3.23:** Panel frontal del sistema SCADA de una práctica demostrativa del diseño del laboratorio remoto.

Como se puede observar en la figura anterior el panel frontal de la aplicación SCADA desarrollada en LabVIEW presenta un aspecto profesional, pero sobre todo las herramientas de programación, monitoreo y control remoto, permiten garantizar el funcionamiento óptimo de las aplicaciones prácticas de automatización y control de procesos.

## CAPÍTULO 4

### ETAPA 3. ESTRUCTURACION DE LA RED Y DISEÑO DEL SOFTWARE DE ACCESO, CONTROL Y GESTION DEL LABORATORIO REMOTO

#### Introducción

Una vez terminada la programación y configuración del PLC (Step7 Basic) y del sistema SCADA (Servidor OPC, Cliente OPC, SCADA), se determina todas las configuraciones y controles de los servicios necesarios para establecer la conexión remota, de manera que se pueda acceder y utilizar el laboratorio, programar los PLCs y emplear los sistemas SCADA, todo esto como usuarios remotos, no de manera presencial, a través del uso de Internet. Para ello, se establece un sistema de control de acceso y reservaciones que autoriza y/o restringe el acceso de los usuarios al laboratorio. A demás, se necesita un sistema de control de todos los servicios necesarios para establecer y regular la conexión remota, necesaria para el acceso y visualización del laboratorio por parte de los usuarios.

La última etapa del laboratorio, etapa 3, comprende la estructura de la red interna, programaciones y configuraciones del software necesario para el establecimiento, control y regulación de la conexión remota, de esta forma se crea un sistema de control y gestión del acceso al laboratorio a través de sesiones y reservaciones; garantizando el correcto desempeño y funcionamiento del mismo entre las distintas sesiones de los usuarios.

#### 4.1 Generalidades del diseño del software

Para el desempeño y correcto funcionamiento del laboratorio las 24 horas del día durante los 365 del año, se diseñan distintos sistemas de acceso, reservaciones,

gestión administrativa, base de datos y control, las cuales, en resumen cumplen la función global de permitir el acceso al laboratorio a través de la realización de reservaciones previas y establecimiento de sesiones. Por lo cual, el usuario que tenga una reservación en día y hora preestablecida puede obtener acceso y control del laboratorio a través del establecimiento de una sesión, la cual tendrá un tiempo definido (tiempo de sesión), razón por la que un usuario a la vez podrá acceder al laboratorio. Únicamente usuarios registrados previamente por el administrador del laboratorio podrán hacer uso del mismo. Para esto, se establecen dos tipos de autenticaciones:

- a) Para el acceso a la interfaz web del laboratorio, por la cual, los usuarios pueden realizar reservaciones previas, funciones administrativas y obtener acceso al laboratorio.
- b) Para conectarse remotamente al equipo servidor del laboratorio, con lo cual se pueden utilizar todas las funciones y servicios que este ofrece al usuario.

El software de programación del PLC, el sistema SCADA y el Visor de las cámaras, son físicamente dispuestos de manera local al laboratorio, sin embargo; su acceso, control y visualización se la realizará remotamente a través del uso de un sistema de escritorio remoto, por parte del usuario que haya previamente establecido una sesión para el uso del laboratorio.

#### **4.1.1 Sistema de acceso**

Se propone un sistema de acceso jerárquico dividido en tres tipos de usuarios:

- 1) **Alumnos:** Son los de menor jerarquía de los 3 tipos de usuarios. Cuentan con el permiso de acceso básico al laboratorio, a través de una reservación previa y limitada por ciertas restricciones establecidas. Estos usuarios pertenecen a un grupo específico a cargo del respectivo profesor.

- 2) **Profesores:** El segundo en jerarquía. Un grupo de alumnos pueden pertenecer a un profesor en específico. Tiene los mismos privilegios de acceso al laboratorio que los alumnos.
  
- 3) **Administrador:** El de mayor jerarquía de los 3. Cuenta con los mayores privilegios y permisos de acceso de todos los usuarios. Tiene acceso al laboratorio a cualquier hora y fecha, incluso puede tener acceso cuando ya está realizada una reservación por otro tipo de usuario, siempre y cuando ese usuario no haya iniciado sesión antes. Esto se crea por la posible necesidad de arreglar o realizar algún mantenimiento del laboratorio no previsto. Además, tiene permisos especiales para realizar configuraciones del funcionamiento del laboratorio como: adición/modificación/eliminación de las prácticas SCADA, visores de cámaras IP, etc. Todo usuario debe ser registrado previamente por el administrador, configurado con los permisos y restricciones de acuerdo al tipo de usuario al que pertenezca.

#### 4.1.2 Sistema de reservaciones

Este sistema gestiona y administra las reservas del uso del laboratorio remoto de los usuarios. Las reservas deben ser realizadas con dos horas de anticipación y permiten seleccionar el día, la hora y el tiempo de sesión, se puede también cancelar dichas reservas. Todo cambio realizado se registra en la tabla de reservaciones de cada usuario. En la figura 4.1 se muestra un ejemplo de cómo debería ser la tabla de reservaciones.

Hora	Lunes	Martes	Miercoles	Jueves	Viernes	Sabado	Domingo
	15/08/2011	16/08/2011	17/08/2011	18/08/2011	19/08/2011	20/08/2011	21/08/2011
00	Uso Local	libre	libre	libre	alumno2	libre	libre
01	Uso Local	libre	libre	alumno1	alumno2	libre	libre
02	Uso Local	S:libre	libre	alumno1	alumno2	libre	libre
03	libre	S:libre	Tu Reserved	profesor1	libre	libre	libre
04	libre	libre	Tu Reserved	profesor1	libre	libre	libre
05	libre	libre	Tu Reserved	profesor2	libre	libre	libre
06	libre	libre	libre	profesor2	libre	libre	libre
07	libre	libre	libre	profesor2	libre	libre	libre
08	libre	libre	libre	libre	libre	libre	libre
09	libre	libre	libre	libre	libre	libre	libre
10	libre	libre	libre	libre	libre	libre	libre

**Figura 4.1:** Modelo de la tabla de reservasiones.

Según el tipo de usuario existen distintos permisos y restricciones para las reservasiones.

- a) **Alumnos:** Usa el sistema básico de reservasiones. Puede realizar reservasiones con mínimo dos horas de anticipación a la hora actual, para una hora y fecha fija, con una duración máxima establecida por el administrador en el respectivo tiempo de sesión máxima del alumno. De igual forma, posee un cierto número de reservasiones máximas, establecidos por el administrador, condicionado también a realizar una reservación máxima por día. Puede consultar la disponibilidad de reservar en la tabla de reservasiones, sin embargo, no puede ver las reservasiones pasadas propias o de otros usuarios.
- b) **Profesores:** Tienen las mismas restricciones que los alumnos y realiza el mismo tipo de reservación básico que los alumnos. Poseen ciertos privilegios adicionales como visualizar reservasiones pasadas y ver qué usuario realizó la reservación, siempre y cuando ese usuario pertenezca al grupo del profesor.
- c) **Administrador:** Puede realizar reservasiones a cualquier hora y fecha, siempre y cuando no esté ocupada por una reservación de otro usuario. No tienen

restricciones en el número de reservaciones que puede realizar ni en el tiempo de duración de la reservación, aunque por motivos de prevención de errores se estableció un límite máximo por defecto al tiempo de sesión del laboratorio. Posee un control total sobre las reservaciones, puesto que puede visualizar reservaciones pasadas y ver cuál usuario las realizó. El tipo de reservaciones que puede realizar son especiales y son tres:

- **Bloqueo total:** Son propiamente reservaciones normales que puede hacer el administrador, con carácter de mantenimiento del laboratorio.
- **Bloqueo semanal:** Son reservaciones para días de la semana, en vez de fechas fijas. Su propósito es reservar el laboratorio cuando se lo utilice localmente por diversas razones académicas y en repetidas ocasiones a una hora y día de la semana establecido.
- **Bloqueo especial:** Son espacios designados en la tabla de reservaciones, para que únicamente usuarios que dispongan de un permiso especial, otorgado administrativamente por el administrador, puedan realizar reservaciones con carácter especial como, por ejemplo, para la realización de proyectos, tesis, etc. Se visualizan en la tabla de reservaciones con un signo de “S:”

En la ventana donde se visualizan la tabla de reservaciones, se visualiza también una tabla que indica según el usuario: el tiempo de sesión máximo permitido, el número de reservaciones máximas permitidas y el número de reservaciones realizadas, al igual que una tabla con todas las reservaciones pendientes. Todos estos datos por usuario, son almacenados en la base de datos y actualizados dinámicamente.

Además se incluye funciones, obviamente necesarias, como: realizar nuevas reservaciones (para el administrador seleccionar el tipo de reservación) y cancelar las respectivas reservaciones, si se lo requiere.

Todas las reservaciones realizadas por cada uno de los usuarios se guardan en la Base de Datos, en su respectiva Tabla de Reservaciones, de esta manera, se tiene un registro de todas las reservaciones realizadas por los usuarios, visualizados por el administrador y profesores en la tabla de reservaciones (opción de ver reservaciones

pasadas). Cabe anotar, que por motivos de diseño se registra un número máximo de 30 reservaciones por usuario (excepto el administrador, porque no hay necesidad para él) en la respectiva tabla de reservaciones. Cuando se supera este límite, las nuevas reservaciones van reemplazando a las más antiguas secuencialmente.

La aplicación de reservaciones es de suma importancia, el ingreso al laboratorio remoto depende de su correcto funcionamiento, y así se garantiza el uso exclusivo del laboratorio por el usuario que realizó la reserva con anticipación, de igual manera permite controlar y vigilar el uso adecuado del laboratorio remoto. Cabe mencionar nuevamente, que el administrador puede ingresar al sistema remoto sin previa reservación, inclusive si se encuentra reservado por un usuario, pero siempre por motivos de seguridad del laboratorio remoto.

#### 4.1.3 Sistema de gestión administrativa.

Este sistema se encarga de la gestión y control de todos los datos administrativos con los que trabaja el laboratorio. Estos datos administrativos se pueden clasificar de la siguiente forma:

- a) **Registro de reservaciones.** Representado en la figura 4.1 y detallado en la sección anterior.
- b) **Registro de acceso.** Muestra el registro de acceso al laboratorio de cada usuario, hora de ingreso y salida de la sesión, a una fecha específica. Por cuestiones de diseño se limita el registro a un máximo de 6 meses. La figura 4.2 se muestra un modelo de este registro.

<b>Registro de Acceso al Laboratorio</b>					
<b>Día: 04/07/2011</b>					
USUARIO	NOMBRE	CURSO	TIPO USUARIO	INICIO DE SESION	FIN DE SESION
alumno1	Pedro Espinoza	5 C Ing. Electronica	alumno	08:00	10:00
alumno4	Carlos Maldonado	7 B Ing. Electronica	alumno	12:00	14:00
profesor 1	Hugo Torres	--	profesor	16:00	19:00

**Figura 4.2:** Modelo del registro de acceso al laboratorio.

c) **Datos de los usuarios.** Son todos los datos que identifican, clasifican y controlan los permisos y restricciones de cada usuario. Se utiliza un sistema de registro/modificación/eliminación de usuarios. Además se incluye la opción de modificar los datos personales propios de cada usuario como: nombre de usuario, contraseña y clave VNC. En la figura 4.3 se muestra el modelo de la tabla, con los diferentes datos del usuario.

USUARIO	alumno1
NOMBRE	Diego Alvarado
CURSO	10 A Ing. Electrónica
CONTRASEÑA	alum1
CLAVE VNC	vnc1
TIEMPO DE SESIÓN MAXIMO (HORAS)	3
Nº RESERVACIONES PERMITIDAS	5
PERMISO ESPECIAL	No
GRUPO	profesor1

**Figura 4.3:** Modelo del registro de acceso al laboratorio.

Según el tipo de usuario se dispone diferentes permisos y restricciones para la visualización de los datos:

- **Alumnos:** Se rigen a los permisos y restricciones establecidos por el administrador. Poseen únicamente el permiso de cambiar ciertos datos personales propios del alumno como: nombre usuario, contraseña y clave VNC.
- **Profesores:** De igual forma que los alumnos, se rigen a los mismos permisos y restricciones establecidos por el administrador. Con la característica adicional de poseer ciertos privilegios administrativos más que los alumnos como: visualizar el registro de reservaciones y acceso al laboratorio de los alumnos que pertenecen a su grupo y ver los datos de los alumnos que pertenecen a su grupo. Además, permite el cambio de datos personales propios del profesor como contraseñas, etc.
- **Administrador:** Puede gestionar todos los posibles datos administrativos de los otros usuarios como: registrar/eliminar a usuarios de la lista de registro; modificar

datos de los usuarios como nombre, curso, grupo al que pertenecen, tiempo de sesión máximo, número de reservaciones máximas, permisos, etc.; visualizar las tablas de registro de reservaciones y acceso al laboratorio de los usuarios. Posee un sistema de cambio de datos personales como contraseñas, etc.

#### **4.1.4 Base de datos**

Todos los datos de cada usuario, registros de reservaciones y registros de acceso, serán guardados y accedidos dinámicamente en sus respectivas tablas, las cuales, conforman la base de datos del sistema.

#### **4.1.5 Sistema de control**

Para la creación del sistema de reservaciones, control de acceso, gestión administrativa, establecimiento, control y regulación de la conexión remota y de la sesión del usuario se diseña un conjunto de aplicaciones de software y se configura distintos servicios en base a los siguientes parámetros:

- Creación de una aplicación web, con la programación necesaria para crear: una página web que sirva de interfaz de acceso y autenticación para los usuarios, un sistema de reservaciones y control de acceso al laboratorio, un sistema de gestión administrativo para el control de distintos datos de los usuarios por parte del administrador y una base de datos donde se alojen las distintas tablas de datos que se generen (reservaciones, registros de acceso, datos personales, etc.).
- Para realizar la conexión y control remoto del laboratorio se utiliza un software que brinde funciones de escritorio remoto (Interfaz de Acceso Remoto). Para que corresponda al funcionamiento del sistema de sesiones, se necesita un control sobre este software de escritorio remoto para su activación/desactivación, cambio dinámico de claves VNC de acceso, todo esto para evitar problemas de seguridad y accesos no autorizados. También se necesita de funciones para la transferencia

de archivos (FTP), esto para el traslado de los archivos que contienen la programación de los PLC, desde el lado del cliente hacia el equipo servidor.

- Creación de un software de control, que se encargue de: activación/desactivación de la conexión remota, así como del cambio dinámico de claves VNC entre sesiones de los usuarios. Control de inicio y cierre de funciones y operaciones necesarias para el correcto funcionamiento del laboratorio entre sesiones de los usuarios. Control del tiempo de sesión de uso del laboratorio en base a las reservaciones y restricciones del tipo de usuario. Sistema de registro de acceso al laboratorio por parte de los usuarios. Monitoreo y sincronismo continuo entre las distintas partes y fases que lo comprenden, para garantizar el correcto funcionamiento y desempeño del laboratorio. Funciones de configuración para el administrador como adición/modificación/eliminación de los SCADA de las prácticas, de programas para la visualización remota de la práctica (cámaras IP), esto de manera transparente al administrador, entre otras.
- Creación de una Interfaz del Laboratorio que permita el monitoreo y control entre el usuario y funciones especiales del laboratorio como: Visualización del tiempo de sesión restante, abrir a elección los SCADA de las prácticas y cámaras, minimizado/maximizado de la interfaz, etc. Esta interfaz, según en qué fase del laboratorio se encuentre o según el tipo de usuario que accede, permite o bloquea distintas pestañas de visualización (usuario/profesor = bloquea, administrador = permite), que dan acceso a funciones de monitoreo de estado y configuración del laboratorio, como: monitoreo del estado del laboratorio, adición/modificación/eliminación de las prácticas y cámaras, configuración de dirección IP de los equipos, pruebas de la activación/desactivación del servidor de escritorio remoto, etc.
- Inclusión de funciones especiales como: la generación de reportes, en cada SCADA de la práctica, esto para que se obtenga un comprobante adicional de la realización de la práctica por parte del usuario y que sirva para su correspondiente calificación. Puesta en STOP de todos los PLC tras finalizar la sesión del usuario, esto para evitar el sobrecalentamiento, desgaste, etc. de los componentes físicos

de las maquetas de las prácticas cuando quedan funcionando en períodos donde el laboratorio no se encuentra en uso.

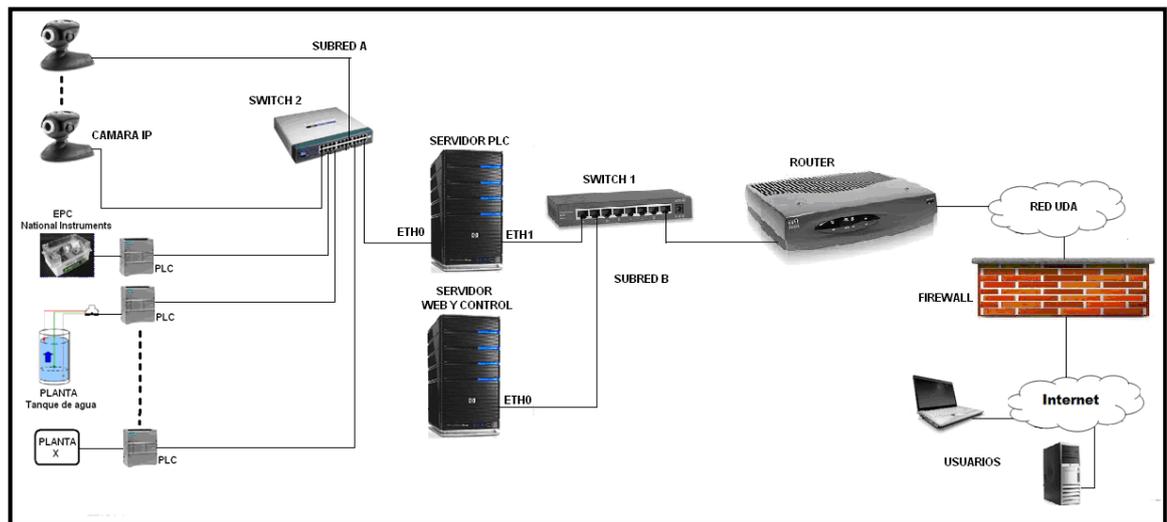
Todo el sistema de aplicación web, software de control e interfaz de laboratorio es creado y desarrollado bajo la plataforma de LabVIEW 2009, la cual, posee herramientas y funciones de programación, control y comunicación especiales que brindan una autonomía, robustez y desempeño bastante óptimo para su desarrollo. LabVIEW 2009 ofrece un servidor web integrado y junto a herramientas como “LabVIEW Web services”, permiten el desarrollo de la programación necesaria (scripts), los cuales, junto a las páginas web diseñadas en Dream Weaver (utilizando el lenguaje html) y ciertos códigos adicionales hechos en java (java scripts), permiten la creación de la Aplicación Web.

Se utiliza funciones como VI Server y Shared Variables (Variables Compartidas) para la comunicación, sincronismo y monitoreo entre los distintos módulos del Software de Control, así como controlar distintas propiedades y funciones de distintos VIs como abrir/cerrar, correr (run), abortar su ejecución, etc. También se utiliza VI Server, para el control de propiedades de la apariencia de los VIs para la interfaz del laboratorio. Además, se utiliza funciones especiales que brinda LabVIEW como el uso de la herramienta System\_Exec que envía comandos al sistema operativo de Windows como si de DOS se tratara, esto para efectuar varios controles sobre las ventanas, carpetas y sobre el servidor VNC utilizado. Además, se utilizan herramientas especiales como la de generación de reportes, etc. Estos motivos y el beneficio que otorga el utilizar una única plataforma como sistema de desarrollo (relativa facilidad en la interacción, control y comunicación entre los distintos módulos del software), es la razón por la cual se decide utilizar LabVIEW 2009 como única plataforma de desarrollo para el software de los distintos módulos: sistema SCADA, aplicación web, software de control e interfaz del laboratorio.

## **4.2 Estructuración y topología de la red**

En base a los parámetros antes mencionados se establece la estructura física del laboratorio y su topología de red básica presentada a continuación en la figura 4.4,

donde se observa los equipos servidores que se van a utilizar, los dispositivos de control (PLC), de visualización (cámara IP), y de ínter conectividad (router y switches) que se deben implementar. Por otro lado se presenta en el Anexo 3 el diagrama de la topología de red de comunicación del laboratorio remoto, en el que se detallan las aplicaciones funcionales de cada equipo servidor.



**Figura 4.4:** Estructura y topología de la red del laboratorio remoto.

Tal como se observa en la figura anterior, la estructura de la red está compuesta de los siguientes elementos:

- **PLCs Simatic S7-1200:** Automatas programables.
- **Cámaras IP (Opcional):** Para la visualización de las maquetas de las distintas prácticas. Se sugiere el uso de cámaras IP por su facilidad de configuración e instalación. Se sugiere que la utilización de estas cámaras sea de forma local en el servidor PLC y visualizadas a través del mismo escritorio remoto. Esto porque, para la visualización remota de las cámaras a través del mismo protocolo IP que poseen, se necesita de una IP pública por cada cámara y esto no sería conveniente al comparar el costo que genera contra la función que desempeña.
- **Plantas de trabajo:** Son las maquetas correspondientes a las distintas prácticas.

- **Equipo servidor PLC:** Es el computador al cual el usuario adquiere el control tras iniciar la sesión en el laboratorio para su respectivo uso. Este equipo contiene: software de programación del PLC (STEP7 BASIC), servidor OPC, sistema SCADA, servidor VNC y FTP, software y drivers de las cámaras IP, Módulo de Lógica del Laboratorio 2 como parte del Software de control y la Interfaz del Laboratorio. Este equipo debe tener altas características de hardware, para otorgar el mejor desempeño y velocidad para la conexión remota y visualización a través de la cámara IP, además de soportar múltiples programas ejecutándose al mismo tiempo como: STEP7 BASIC, SCADAs de LabVIEW, visor de cámara IP, etc. El sistema operativo de este servidor debe ser Windows XP SP3, debido a que es el sistema operativo más compatible y estable con el servidor OPC y el sistema SCADA en general. Se recuerda que no se puede utilizar un sistema Linux puesto que OPC funciona en base al protocolo OLE, propio de Windows. Este equipo también posee todas las configuraciones y bloqueos de los servicios necesarios para evitar su uso indebido.
- **Equipo servidor web y control:** Este computador se encarga de alojar la aplicación web que contiene el servidor web del laboratorio remoto. Contiene además, el Módulo de Lógica del Laboratorio 1 como parte del software de control del laboratorio. Las características de hardware no deben ser las comúnmente utilizadas para un servidor web, puesto que el software de control ocupa muy pocos recursos del computador. El sistema operativo de este servidor debe ser Windows Server 2008 o 2003, ya que al funcionar prácticamente como servidor web, se deben realizar las configuraciones y bloqueos de los servicios que no se utilicen. Cabe resaltar que este servidor también contiene el software de control del laboratorio, el cual, se comunica con el software de control en el servidor PLC, por lo tanto; el firewall implementado en este equipo debe tener los correspondientes puertos abiertos para no bloquear la comunicación; esto se explica con mayor detenimiento en el Apartado de Seguridades y Consideraciones del siguiente capítulo. Este equipo no puede tener el S.O. de Linux porque el sistema de aplicación web utiliza herramientas de LabVIEW que, por el momento, no son compatibles con Linux, razón por la cual se utiliza Windows Server, que además es ampliamente utilizado en servidores web.

- **Switch1:** Es el encargado de la conmutación de los paquetes de la Subred B, a la cual pertenecen un puerto fastethernet del Servidor PLC y el puerto fastethernet del servidor web y control. Puede ser de cualquier marca y se sugiere que tenga 8 puertos para solventar la posibilidad de agregar más servidores en el futuro.
- **Switch2:** Es el encargado de la conmutación de los paquetes de la Subred A, a la cual pertenecen los PLCs, cámaras IP y un puerto fastethernet del Servidor PLC. Este switch puede ser de cualquier marca, pero se sugiere que sea de 24 puertos, para sustentar la posibilidad de expansión del laboratorio (aumenten la cantidad de PLCs y/o cámaras IP).
- **Router:** Es el dispositivo de ínter conectividad, encargado del enrutamiento y unión de la red interna del sistema del laboratorio con la red de la Universidad del Azuay. Puede ser de cualquier marca y modelo, siempre y cuando garantice las funciones requeridas, sin embargo se recomienda la utilización de routers Cisco por su robustez y calidad.

Cabe resaltar que según la estructura de red del laboratorio remoto se propone tablas de direccionamiento IP, que pueden ser o no ser utilizadas, debido a que especialmente en la subred B se pueden generar conflictos de IP con la red de la universidad. Para ello, se puede cambiar el direccionamiento IP del laboratorio, siempre y cuando el direccionamiento sea análogo al presentado en el plano.

La topología de la red interna del laboratorio se divide en dos subredes. La subred A que comunica al servidor PLC con los PLCs y las cámaras IP, y la subred B que comunica al servidor PLC con el servidor web y control y además comunica al servidor PLC con la red de la universidad, la cual, a su vez lo comunica con la red WAN de Internet, que lo comunica hacia el lado del cliente (usuarios) para el establecimiento de la conexión remota.

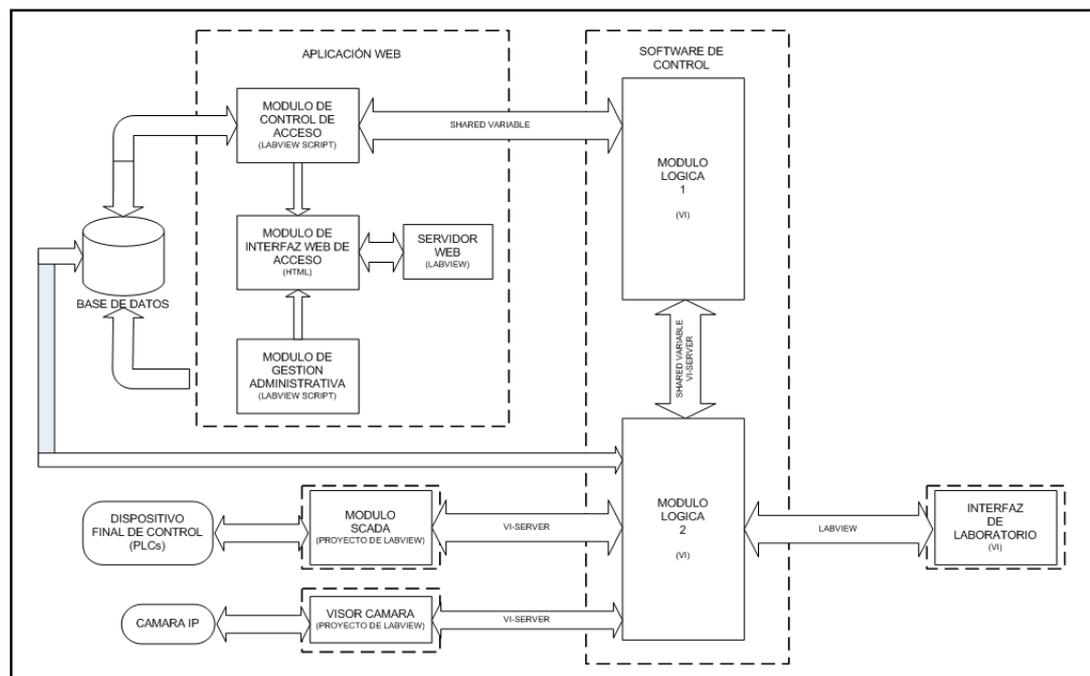
La división de la red interna del laboratorio en dos subredes se efectúa con el objetivo de evitar tráfico broadcast innecesario, que podría saturar la red interna del laboratorio y generar latencias en la conexión remota, además se realiza la división para evitar problemas de seguridad con el acceso directo a las interfaces Ethernet de

lo PLCs o cámaras IP. Por otra parte evita posibles conflictos de IP entre los PLCs y la red de la Universidad, puesto que los PLCs, pueden ser configurados con cualquier IP en el STEP7 BASIC por parte del usuario que tiene control del Servidor PLC en su respectiva sesión.

El router debe ser configurado con los protocolos de enrutamiento, rutas estáticas, etc., en general con todas las configuraciones que crea necesarias el administrador de la red de la universidad, de manera que garantice la convergencia entre la red interna del laboratorio y la red de la universidad. Adicionalmente se pueden configurar listas de acceso (ACL) en el router para añadir seguridades adicionales y evitar posibles huecos de seguridad que se puedan presentar.

#### 4.3 Diseño del software de acceso, control y gestión del laboratorio remoto

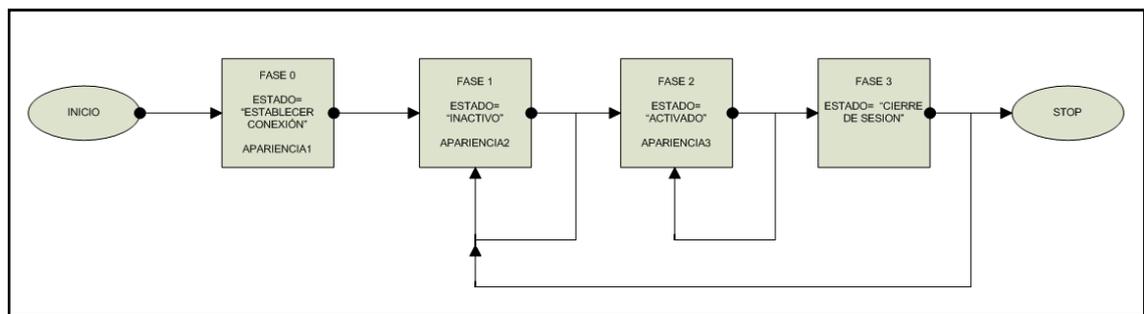
Utilizando los criterios de diseño, anteriormente expuestos, de los sistemas de: acceso, reservaciones, gestión administrativa, base de datos y control; se diseña un software que cumpla con las funciones y requerimientos planteados, de forma que, permita el correcto funcionamiento y desempeño del laboratorio remoto. De esta manera; se diseña el esquema del software global representado en la figura 4.5.



**Figura 4.5:** Esquema del software de acceso, control y gestión del laboratorio remoto.

Este esquema se diseña en forma modular, de tal manera, que los distintos módulos que lo conforman se encarguen de funciones específicas y existe una comunicación continua entre ellos. Esta relativa autonomía entre módulos, permite la escalabilidad del diseño, con lo cual, se pueden agregar o mejorar funciones específicas en un solo módulo, sin afectar en mayor medida al funcionamiento global del sistema.

En base al diseño de este software, se puede establecer 4 fases o estados en que el laboratorio se puede encontrar, tal como se muestra en la figura 4.6 a continuación presentada.



**Figura 4.6** Diagrama de estados o fases del laboratorio.

- 1) **Entablar conexión o fase 0:** Es la fase inicial del laboratorio, inmediatamente ejecutado las aplicaciones. En este estado se cargan todas las configuraciones iniciales y se establece las conexiones necesarias entre equipos y módulos.
- 2) **Inactivo o fase 1:** En esta fase las aplicaciones con los distintos módulos ya están iniciados, conectados y comunicados entre sí. Esta fase espera el inicio de sesión de uso del laboratorio por parte de un usuario.
- 3) **Activado fase 2:** En esta fase se ha establecido una sesión de uso del laboratorio, con los respectivos controles y configuraciones de los servicios activados, necesarios para el establecimiento de la conexión remota. Se utiliza los diferentes controles y opciones que brinda el laboratorio para su uso por parte de los usuarios (programación del PLC, sistema SCADA, visualización en tiempo real (relativo) de las maquetas a través de cámaras IP, etc.).

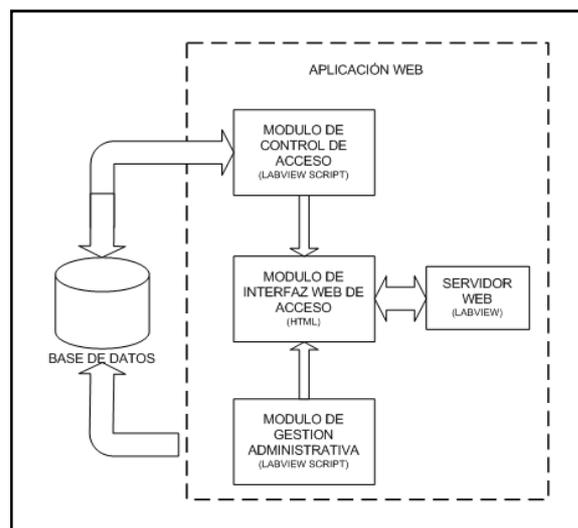
- 4) Cierre del laboratorio o fase 3:** En esta fase se termina la sesión del usuario, y se procede a desactivar los servicios necesarios para la conexión remota, también se ejecutan las operaciones necesarias para dejar al laboratorio disponible para un nuevo inicio de sesión.

### 4.3.1 Módulos del software de acceso, control y gestión del laboratorio

El software de acceso, control y gestión del laboratorio está conformado por 5 módulos, cada uno con funciones específicas y con comunicación continua entre módulos; que garantizan el correcto funcionamiento en conjunto de las distintas partes que conforman el laboratorio remoto. Estos módulos son descritos a continuación.

#### 4.3.1.1 Aplicación web

Es el módulo del software encargado de los sistemas de acceso, reservaciones y gestión administrativa del laboratorio. Además, por medio de un servidor web (Servidor Web de LabVIEW), brinda una Interfaz web de acceso y presentación del laboratorio, utilizada por los usuarios. Este módulo se encuentra instalado físicamente en el equipo servidor web y control. El diagrama de cómo está constituida la Aplicación Web se muestra en la figura 4.7.



**Figura 4.7:** Esquema del software de acceso, control y gestión del laboratorio remoto.

La aplicación web está constituida por submódulos, encargados cada uno de funciones específicas, explicadas a continuación:

**a) Módulo de control de acceso:** Se encarga de restringir, permitir y regular el acceso de los usuarios al laboratorio, en base al sistema de reservaciones planteado. Estableciendo una sesión para el usuario que disponga de una reservación previa, en el caso del administrador, permite el acceso al laboratorio en cualquier momento, siempre y cuando no haya estado iniciada previamente una sesión por otro usuario. Este módulo está en continua comunicación con la base de datos, donde se alojan las tablas de reservaciones, y con la interfaz web de acceso y presentación, puesto que este módulo conforma los “scripts” de programación que utiliza el servidor web en conjunción con la interfaz web. Una vez establecida la sesión, este módulo informa al software de control, para que este inicie el proceso de establecer la conexión remota; además, le comunica parámetros de control como: el tiempo de sesión, clave VNC, etc., y parámetros administrativos como: nombre y tipo de usuario, curso, entre otros. La función de comunicación está desarrollado empleando las Shared Variables de LabVIEW.

**b) Módulo de gestión administrativa:** Se encarga de la generación, modificación, eliminación y visualización de todos los datos administrativos de cada usuario y del sistema de reservaciones. Este módulo se comunica continuamente con la base de datos, donde se almacenan los datos de los usuarios, así como las tablas de reservaciones. Las funciones específicas que realiza este módulo son las siguientes:

- Registro/eliminación de nuevos usuarios en la tabla de registro.
- Modificación de los datos de usuario, de forma individual o por conjunto.
- Búsqueda y visualización de datos de usuario, de forma individual, por conjunto o de todos, según el tipo de usuario.
- Adición, modificación o cancelación de las reservaciones. Para el administrador, adicionalmente se elige el tipo de reservación.

- Visualización de la tabla de disponibilidad de reservaciones, junto con datos administrativos de las mismas, como: número de reservaciones realizadas, tiempo de sesión máximo, etc.
- Visualización del registro de reservaciones y de acceso al laboratorio.
- Modificación de datos propios del usuario como: nombre de usuario, contraseñas, etc.

Este módulo se comunica además continuamente con la interfaz web de acceso y presentación, puesto que este módulo también conforma los “scripts” de programación que utiliza el servidor web en conjunción con la interfaz web.

**c) Interfaz web de acceso y presentación:** Como su nombre lo indica, es la interfaz web gráfica, que a través de distintas ventanas y controles, y en base a la utilización de los módulos de control de acceso y gestión administrativa, permite a los usuarios acceder y establecer una sesión de uso para el laboratorio, y, según el tipo de usuario, gestionar distintas opciones administrativas y reservaciones. Posee un sistema de autenticación inicial, para dar acceso únicamente a los usuarios registrados por el administrador, permite realizar reservaciones establecer una sesión de uso para el laboratorio, además de utilizar las distintas opciones y funciones adicionales que ofrece el mismo. Entre las distintas páginas web y controles que conforman esta interfaz se mencionan los principales:

- Página inicial de autenticación.
- Menús con distintas opciones según el tipo de usuario.
- Página con las distintas opciones del sistema de reservaciones.
- Página para el registro, modificación o eliminación de usuarios.
- Página para la búsqueda, visualización y modificación de los datos de los usuarios.
- Página con opciones para cambiar datos propios del usuario.
- Página con las descripciones de las diferentes prácticas.
- Página de acceso al laboratorio.

El dominio general utilizado para la interfaz web del laboratorio es “lab\_remoto”, con lo cual, la página de inicio del laboratorio será

[http://dominio\\_servidor\\_plc/lab\\_remoto/web\\_intro/index.html](http://dominio_servidor_plc/lab_remoto/web_intro/index.html), donde, “dominio\_servidor\_plc” es el nombre de dominio que contiene la dirección IP del equipo servidor PLC (establecido por el administrador de red de la universidad).

#### 4.3.1.2 Software de control

Es el módulo del software encargado del control, regulación y gestión de la conexión remota, después de que haya sido establecida la sesión del usuario. Además, se encarga del monitoreo, comunicación, sincronismo y control del funcionamiento lógico del laboratorio. Controla las operaciones iniciales y finales, establece controles y seguridades adicionales para la conexión remota, y en general realiza todas las operaciones necesarias que garanticen el correcto funcionamiento y desempeño del laboratorio entre las distintas sesiones de los usuarios. Este módulo se instala tanto en el equipo servidor web y control, como en el equipo servidor PLC, por lo cual, se divide en 2 partes, las cuales, disponen de una comunicación continua entre ellas y los otros módulos del software en general. Las partes en la cual se divide este software son:

**a) Módulo de Lógica 1 (ML1):** Es la aplicación intermediaria y controladora del sincronismo entre la aplicación web y el Módulo de Lógica 2, esta es su función principal. Este módulo informa al Módulo de Lógica 2 del inicio o cierre de la sesión de un usuario; de igual manera le informa al módulo de control de acceso de la aplicación web sobre la terminación de la sesión ya sea por culminación del tiempo de sesión o por elección del mismo usuario. También le informa al módulo de control de acceso, si ha ocurrido un error de sincronismo o comunicación con el Módulo de Lógica 2 y por lo tanto el acceso remoto al laboratorio no está disponible para ningún tipo de usuario. Esta aplicación se encuentra físicamente alojada en el equipo servidor web y control. Posee funciones y características adicionales como:

- Detección automática de la conexión con el servidor PLC.

- Monitoreo continuo de la comunicación con el Módulo de Lógica 2 y control del sincronismo de las distintas fases entre estos dos módulos realizado empleando Shared Variables y VI Server de LabVIEW.
- Configuración de la dirección IP del servidor PLC con el que tiene que comunicarse.
- Registra el inicio y salida de la sesión de un usuario al laboratorio y graba esta información directamente en la tabla de registro de acceso en la base de datos.

Este módulo además posee un sistema integrado de registro de errores, el cual, almacena un listado de los errores de sincronismo o pérdida de la comunicación que podrían ocurrir durante su ejecución.

Cabe resaltar, que la aplicación que contiene este módulo también posee una interfaz de visualización, presentada a continuación en la figura 4.8. Esta interfaz está destinada únicamente para el administrador, es enteramente de carácter local, puesto que muestra datos y opciones únicamente utilizados para la configuración inicial del laboratorio y la verificación de su correcto funcionamiento. Presenta opciones como:

En la ventana **Módulo Lógica 1:**

- Monitoreo del estado o fase en que se encuentra el laboratorio.
- Monitoreo estado de la conexión con el Módulo de Lógica 2.
- Visualiza el establecimiento de una sesión para uso del laboratorio, junto con los datos del respectivo usuario.
- Muestra datos administrativos como la IP y nombre de la máquina del equipo servidor PLC.

En la ventana **Establecer Conexión:**

- Opción para configurar la dirección IP del servidor PLC (para su localización en la red).
- Estado de la conexión con el servidor PLC.

En la ventana **Errores:**

- Muestra un cuadro de mensaje con los posibles errores que se hayan presentado.



**Figura 4.8:** Imagen de la Interfaz del Módulo de Lógica 1.

**b) Modulo Lógica 2 (ML2).** Este módulo se encarga principalmente del control, regulación y gestión de la conexión remota. Se comunica directa y continuamente con el ML1, y controla ciertos aspectos del módulo SCADA y del visor de la cámara IP. Se encuentra instalado físicamente en el equipo servidor PLC. Sus funciones y características se detallan a continuación:

- Detección automática de la conexión con el servidor PLC.
- Activación/desactivación del servidor de escritorio remoto (Servidor VNC), esto para controlar el establecimiento de la conexión remota.
- Control del tiempo de sesión de uso del laboratorio, esto para la regulación del tiempo de la conexión remota.
- Cambio dinámico de la clave VNC (propia de cada usuario), utilizada por el servidor VNC, esto para la gestión de la conexión remota. Este punto es importante, puesto que evita accesos no autorizados al laboratorio, garantizando y respetando el correcto funcionamiento del sistema de reservaciones establecido.
- Monitoreo continuo de la comunicación con el Módulo de Lógica 1.
- Informa al ML1, en qué fase se encuentra.
- Informa al ML1 si se ha ejecutado la orden de cerrar sesión.
- Controla la apertura y cierre de las aplicaciones SCADA de las respectivas prácticas del módulo SCADA, así como las aplicaciones del visor de las Cámaras, esto a través del empleo de VI Server de LabVIEW.
- Realiza las operaciones necesarias tras la finalización de la sesión del usuario, de tal manera, que deja listo al laboratorio para el inicio de la próxima sesión.

Operaciones como: cerrar cualquier SCADA o Visor de la Cámara que se encuentren abiertos, borrar el contenido de la carpeta destinado para el trabajo del estudiante, donde contiene la programación del PLC, reportes generados, etc.

Este módulo contiene las programaciones utilizadas por la Interfaz del Laboratorio; sin embargo, aunque pertenecen a la misma aplicación, corresponden a distintos módulos, por lo cual, se los explica por separado para distinguir las características y funciones que desempeñan cada uno. De igual manera que el ML1, este módulo posee un sistema integrado de registro de errores con las mismas funciones.

#### **4.3.1.3 Interfaz del laboratorio**

Este módulo del software se encarga de ofrecer una interfaz gráfica para la interacción entre el usuario y las distintas funciones y opciones que ofrece el laboratorio. Se encuentra alojado físicamente en el equipo servidor PLC y pertenece a la misma aplicación que el ML2. La interfaz del laboratorio ofrece distintas ventanas, cada una, con varias opciones administrativas, gráficas o de control, que según el tipo de usuario y la fase o estado del laboratorio en que se encuentre, se bloquearan o no su visualización. Existen 4 ventanas que ofrece esta interfaz:

**a) Laboratorio:** En esta ventana se visualiza todas las opciones básicas necesarias para el manejo y uso normal del laboratorio, el detalle se presenta más adelante en la figura 4.9. Tanto los alumnos, profesores y el administrador pueden acceder a esta ventana. Se visualizan opciones como:

- Minimizar/maximizar la interfaz.
- Tiempo de Sesión restante.
- Nombre y tipo de usuario.
- Cuadro de mensaje.
- Control de la transparencia de la interfaz.
- Selector de practica SCADA para abrir.
- Selector de Visor de la Cámara para abrir.

- Cerrar la sesión manualmente.

**b) Configuración:** Se visualizan todas las opciones administrativas y de monitoreo, tal como se observa en la figura 4.10 presentada más adelante. Esta ventana está disponible únicamente para el administrador, contiene opciones como:

- Añadir/modificar/eliminar los SCADA de las prácticas a utilizar en el laboratorio.
- Añadir/modificar/eliminar los visores de las cámaras IP a utilizar en el laboratorio.
- Cambiar la dirección IP del servidor web y control, para su comunicación.
- Cambiar la dirección del archivo del VI PLC OFF, utilizado para la puesta automática en STOP de todos los PLC.
- Cambiar la dirección del archivo ejecutable del servidor VNC, para su respectivo control.
- Activación/desactivación manual del servidor VNC, para las respectivas pruebas de su funcionamiento.
- Control de visualización de las cámaras, para bloquear la opción del selector de visor de cámaras IP si es que no se utiliza.
- Monitoreo del estado o fase en que se encuentra el laboratorio, así como del estado de la comunicación con el ML1.
- Visualización de datos administrativos de la aplicación como IP y nombre de la máquina del servidor web y control.

**c) Establecer de conexión:** Muestra el estado de la conexión con el servidor web y control. Es visualizado únicamente por el administrador.

**d) Errores:** Muestra un cuadro de mensaje con los posibles errores que se hayan presentado. Es visualizado únicamente por el administrador.



**Figura 4.9:** Imagen de la ventana “Laboratorio” de la Interfaz del Laboratorio.



**Figura 4.10:** Imagen de la ventana “Configuración” de la Interfaz del Laboratorio.

La Interfaz del Laboratorio según el estado o fase del laboratorio presenta 3 apariencias.

- 1) **Estado entablar conexión o fase 0:** Es la primera apariencia que se obtiene al iniciar la ejecución local de la aplicación. Muestra únicamente la ventana “Establecimiento de Conexión” hasta que se logre detectar al servidor web y Control en la red.
- 2) **Estado inactivo o fase 1:** Muestra todas las ventanas de la interfaz, con la adición de dos botones, “STOP” para detener la ejecución de la aplicación y “Cerrar” para cerrar la aplicación. Esta apariencia está orientada para uso del administrador de forma local, de manera que permita realizar las configuraciones y pruebas necesarias para dejar listo el laboratorio para su uso remoto por parte de los demás usuarios. Esta apariencia se muestra antes del inicio de una sesión de uso del laboratorio, y también, se regresa a esta apariencia tras finalizar la sesión y las operaciones de cierre respectivas.
- 3) **Estado activado o fase 2:** Es la apariencia de la interfaz que se aplica cuando se ha establecido una sesión de uso del laboratorio por parte de un usuario. Si el usuario es un alumno o un profesor, esta apariencia únicamente muestra la ventana “Laboratorio”; pero si es un administrador, muestra todas las ventanas.

#### 4.3.1.4 Módulo SCADA

Es el módulo del software, que comprende un proyecto de LAbVIEW, encargado principalmente de contener todos los SCADA de las prácticas que se van a utilizar en el laboratorio. Se encuentra instalado físicamente en el equipo Servidor PLC.

Contiene una o varias librerías con las variables de comunicación con el servidor OPC; también contiene los VIs de los SCADA, todos dentro del mismo proyecto (Explicado en el capítulo 3, sección 3.3.3. Configuración de LabVIEW como cliente OPC).

Debido a la modularidad y escalabilidad con que se diseñó el software, este módulo es relativamente independiente del resto de los otros módulos, lo que implica, que se pueden incluir nuevos sistemas SCADA personalizados (desarrollados por el administrador), según como se necesite para realización de nuevas prácticas, esto de manera independiente al resto del funcionamiento del laboratorio. Para la inclusión de estos SCADA dentro de las funciones del laboratorio, se encuentran las opciones de configuración para el administrador de adición/modificación/eliminación de los archivos (VI) que contienen los respectivos SCADA, mencionados en secciones anteriores de este capítulo. Se tiene un límite de hasta 20 SCADA que se pueden añadir al software del laboratorio.

Para el correcto funcionamiento del laboratorio, es necesario incluir, dentro del proyecto del Módulo SCADA, un VI que se llame obligadamente “PLC OFF”, encargado de poner en el estado de STOP a todos los PLC S71200. Es necesaria la creación tanto en la librería del proyecto de LabVIEW, como en el servidor OPC, las variables respectivas que apunten a la activación de un contacto, el cual activa la función de “STOP” en la programación de cada PLC utilizado en el Laboratorio. De manera que el software del laboratorio ponga en estado de STOP a todos los PLC cada vez que se finalice una sesión de uso del laboratorio, de esta forma, se impide que el PLC y por lo tanto la maqueta vinculada al mismo se quede funcionando innecesariamente, evitando así, futuros problemas de sobrecalentamiento y desgaste de los componentes físicos.

También, se incluye la función adicional y opcional de generación automática de reportes, para cada SCADA de la respectiva práctica. Esto se emplea para generar reportes personalizados del SCADA de la respectiva práctica utilizada por el estudiante, de manera que sean revisados por el profesor para su respectiva comprobación y calificación, además también le sirven al estudiante para la presentación del informe de trabajo. Se necesita colocar al final del diagrama de

bloques de cada SCADA, el subVI “Generación de Reportes”, el cual se encuentra ya predefinido y diseñado para se incluyan datos básicos correspondientes a la práctica como: título de la práctica, descripción, etc.

Estos reportes son generados en documentos de Microsoft Office Word en base a una plantilla predefinida, en el que se incluye automáticamente datos del usuario como nombre, curso, etc. Este subVI debe ser vinculado a un botón en el panel frontal del respectivo SCADA y debe ser incluido obviamente en el respectivo proyecto de LabVIEW. Estos reportes se guardan en 2 locaciones diferentes, la primera en un lugar especial para que el administrador pueda realizar consultas futuras; y la segunda en la carpeta del usuario (alumno) destinado para su trabajo.

Para el desarrollo final de lo VIs de cada SCADA, se recomienda utilizar las propiedades de apariencia del panel frontal, ubicadas en “File>>VI Properties”, donde se puede modificar opciones como: bloqueo de la barra de herramientas, barra de ejecución, opciones de maximización/minimización de la ventana, etc. Estas propiedades se modifican, según como se desee mostrar, la interfaz gráfica final del SCADA.

#### **4.3.1.5 Visor de las cámaras**

Este módulo es opcional e independiente del funcionamiento del software del laboratorio y contiene la programación necesaria para comunicarse con cada cámara utilizada, para su respectiva visualización en un VI de LabVIEW. Se encuentra alojado físicamente en el equipo servidor PLC, en el cual se instala el software drivers propios de las cámaras a utilizar. Se utilizan los controles ActiveX de la cámara para su control y comunicación con LabVIEW. Se pueden desarrollar tantos VIs visores como cámaras se tengan instaladas en el laboratorio, con un máximo de 10 cámaras establecido por el software del laboratorio.

Se utilizan cámaras IP, debido a su relativa simplicidad en la instalación y uso. La visualización de estas cámaras, aunque sean IP, es local y son visualizadas remotamente por los usuarios a través del escritorio remoto. De otra forma, se las

podría acceder remotamente utilizando el servidor web integrado en cada cámara, pero esto trae dificultades al momento de ejercer un control para su uso exclusivo por parte del usuario, y además para ello necesitan de una IP pública por cada cámara y esto no sería conveniente al comparar el costo que genera contra la función que desempeña. Cabe resaltar, que la transmisión de imágenes de estas cámaras en tiempo real, es relativa al ancho de banda disponible para la conexión remota; por lo cual, se experimenta latencias en la reproducción de las imágenes, ya que dependen de la velocidad de subida/bajada de datos de la conexión remota con el cliente.

Es por estas razones que la inclusión de las cámaras y sus respectivos visores son completamente opcionales y a criterio del administrador. Para ello se han agregado los controles en la interfaz del laboratorio que permiten adición/modificación/eliminación de estos visores en la interfaz. Además de incluir un control para bloquear o no su visualización, en el caso que no se desee utilizarlos.

#### **4.3.2 Interfaz de acceso remoto. Configuraciones del software y servicios necesarios para la conexión remota**

Para visualizar y adquirir el control del laboratorio remotamente y utilizar todas las funciones, opciones y servicios que este provee, para la debida realización de las prácticas de automatización; los usuarios hacen uso de las funciones de escritorio remoto (VNC), el cual conforma la interfaz de acceso remoto del laboratorio.

Para esto, es necesario el establecimiento de una conexión remota, a través del uso de un servidor de escritorio remoto. Este le otorga a los usuarios el control del equipo servidor PLC, con lo cual, pueden hacer uso de todas las funciones y opciones que brinda el laboratorio (Programación PLC, utilización de los SCADAs respectivos, etc.). Para ello, se utiliza el software especializado “TightVNC Server”, el cual, ofrece todas las características y funciones necesarias de escritorio remoto que se necesitan. Este servidor se encuentra instalado, obviamente en el equipo Servidor PLC. También cuenta con un sistema de autenticación (clave VNC) para dos tipos de acceso: el primero para el acceso normal de todos los tipos de usuario; el segundo,

para el acceso exclusivo del administrador. Este último es opcional, ya que el administrador, de por sí, puede acceder con su propia clave además de brindar funciones de una contraseña de acceso general para el administrador, configurada previamente. El TightVNC ofrece dos sistemas de acceso que se presenta a continuación:

- a) Utilizando un software cliente llamado “TightVNC Viewer”, el cual se encuentra instalado en el lado del cliente (usuarios). Una vez realizado el acceso y establecimiento de una sesión de uso del laboratorio por parte de un usuario, se puede acceder remotamente al escritorio del equipo servidor PLC, para la visualización y control de las respectivas opciones que ofrece el laboratorio, a través de la aplicación “TightVNC Viewer”, que además ofrece funciones especiales como la transferencia de archivos desde el equipo cliente hacia el equipo servidor. Cabe resaltar, que esta aplicación debe ser instalada previamente en el computador del usuario.
- b) A través del uso de la interfaz web del propio del navegador. Esta modalidad de acceso presenta mayores latencias. Además, no contiene funciones adicionales como la transferencia de archivos. Sin embargo; al utilizar esta modalidad de acceso, no se necesita tener instalado ningún programa en el computador del usuario, solo se necesita un navegador web pueda ejecutar códigos java, es decir tener instalado servicios java en el computador del usuario.

Un punto importante a recalcar, es que el administrador localmente y solo en la primera vez de uso del laboratorio, debe buscar y seleccionar, a través de la interfaz del laboratorio y dentro del equipo servidor PLC, la ubicación del ejecutable del servidor TightVNC, llamada “tvnserver.exe”.

Para el traslado de los archivos de las prácticas del STEP7 se utiliza la función de transferir archivos (TFTP) propios del TightVNC, para lo cual en el sistema operativo del equipo servidor PLC, a modo de seguridad, se necesitan bloquear los permisos de escritura de los discos, excepto de una carpeta en una partición especialmente reservada para guardar las practicas STEP7 que va a utilizar el usuario durante su sesión. Esta carpeta es borrada por el ML2 tras finalizar la sesión de uso

del laboratorio. De esta forma, el laboratorio se encuentra listo para una nueva sesión por parte de otro usuario y este último no podrá utilizar la programación del PLC desarrollada por el usuario anterior.

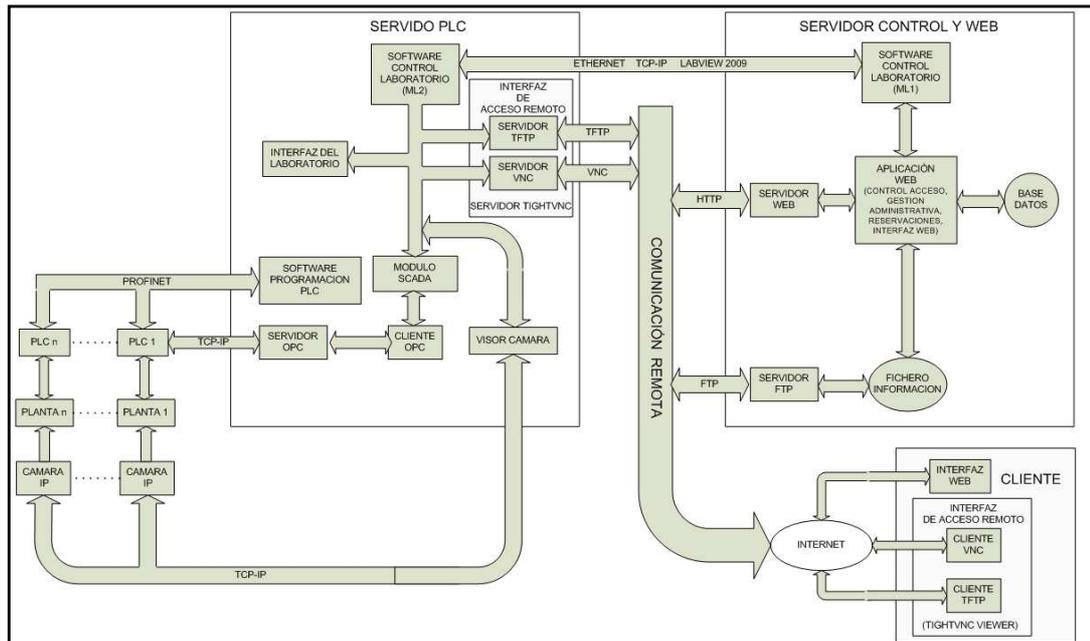
Para garantizar el uso exclusivo del laboratorio, por parte de un usuario con una reservación previa y por lo tanto una sesión de uso válida, se incluye el sistema de cambio de clave automático de acceso al servidor VNC. Esta tarea es realizada por el ML2 y cambia automáticamente la clave de acceso (clave VNC) en el “TightVNC Server”, esta clave es propia del usuario, y el cambio se lo realiza justo después de haberse aceptado una sesión válida para uso del laboratorio.

Puesto que se utiliza las funciones de escritorio remoto, se otorga el control al usuario del escritorio del computador servidor PLC, lo cual, representa un agujero de seguridad si el usuario hace uso indebido de este equipo fuera de los parámetros de uso común del mismo. Por lo cual, es necesario restringir y bloquear todas los accesos, controles y funciones que no sean necesarios para el correcto uso del laboratorio, como: barra de tareas, permisos de escritura y lectura, administrador de tareas, etc. Para lo cual se utiliza el software In\_Touch\_Lock versión 3.4, el cual permite una administración de todos estos tipos de bloqueos y servicios.

En el escritorio del computador Servidor PLC, debe dejarse únicamente un icono de acceso directo al software STEP7 BASIC para la programación del PLC y un acceso directo al directorio donde el usuario puede alojar sus archivos propios con la programación del PLC.

### **4.3.3 Arquitectura general del sistema y funcionamiento global del laboratorio remoto**

Con la estructura física y lógica de la red establecida del laboratorio, junto con el software y los servicios necesarios para el acceso, control y gestión del laboratorio y de la conexión remota, y con el conjunto de software y aplicaciones necesarias para su uso; se integran todas estas partes y se establece la estructura y arquitectura general del sistema, mostrada en la figura 4.11.



**Figura 4.11:** Arquitectura general del laboratorio remoto.

En base a esta arquitectura y al sistema de fases establecido para el laboratorio como se observa en la figura 4.6, se procede a explicar el conjunto de operaciones lógicas que se ejecutan en el software de acceso, control y gestión, para el correcto desempeño del laboratorio.

En primer lugar, se ejecutan, configuran y prueban localmente todas las aplicaciones, para dejar dispuesto el laboratorio para uso remoto. Para ello se procede así:

- 1) **Puesta a punto:** Se dejan a punto todos los componentes no lógicos que componen el laboratorio: PLC, STEP 7 BASIC, SCADAs, aplicación web, cámaras, etc.
- 2) **Fase 0 “ENTABLAR CONEXIÓN”:** Se ejecuta la aplicación del ML1, y a continuación la del ML2. En este momento se encuentran en la fase 0 o estado “ENTABLAR CONEXIÓN” del laboratorio, y la interfaz del laboratorio muestra su primera apariencia. Como primer paso se establecen las configuraciones iniciales y los módulos se buscan en la red interna y establecen la conexión con el equipo servidor correspondiente. A continuación establecen la comunicación entre módulos. Si existe algún error en la conexión o comunicación, se muestra el

respectivo error en la correspondiente interfaz. Una vez que la comunicación este establecida correctamente, en este momento.

- 3) Fase 1 o estado “INACTIVO”:** Se pasa a la fase 1 o estado inactivo, y la interfaz del laboratorio se coloca en su segunda apariencia. En esta fase se realizan todas las configuraciones y pruebas de la conexión remota, a través de la interfaz del laboratorio por parte del administrador como: ubicación de los VIs de los SCADAs de las prácticas a mostrar, de los visores de cámaras, etc. Si es la primera vez que se utiliza el laboratorio, el administrador tiene que ubicar el archivo “tvnserver.exe” del servidor TightVNC. Acabadas todas estas configuraciones, el administrador debe, por último, dejar configurado y bloqueado el escritorio del Servidor PLC (Software In\_Touch\_Lock v3.4). El laboratorio permanece en esta fase hasta que se establezca una sesión por algún usuario.
- 4) Establecimiento de la sesión:** En primer lugar, los usuarios se deben autenticar inicialmente para ingresar a la interfaz web del laboratorio. Si tienen una reservación previamente realizada, y están en la hora y día correspondiente con esa reservación pueden iniciar una sesión de uso del laboratorio, excepto los administradores que pueden ingresar sin reservación previa, siempre y cuando el laboratorio no siendo usado por otro usuario. Cuando el módulo de control de acceso, de la aplicación web, establece una sesión válida, lo comunica al ML1 y le envía los parámetros necesarios de control.
- 5) Fase 2 o estado “ACTIVADO”:** En la fase 2 o activado del laboratorio, el ML1 recibe la información del establecimiento de sesión, y si no existe ningún error en la comunicación con el ML2 o de sincronismo en las fases, le envía la orden a este para la activación de la conexión remota, caso contrario, le informa a la aplicación web sobre la imposibilidad del establecimiento de la conexión, la cual a su vez, le informa a través de un mensaje al usuario. Si todo esta correcto, el ML2 recibe esta orden y procede a realizar las operaciones necesarias para establecer la conexión remota:

  - Cambia la clave de acceso (clave VNC) al servidor TightVNC, por la correspondiente clave del usuario que inició sesión.

- Inicia el servidor TightVNC para que se pueda establecer la conexión remota.
- Cambia en la interfaz del laboratorio a su apariencia 3, bloqueando los controles y opciones respectivos según el tipo de usuario.
- Inicia el contador del tiempo para el control del tiempo de sesión del usuario.

**6) Modo de uso del laboratorio:** En este momento el usuario puede utilizar todas las funciones que ofrece el laboratorio y realizar las respectivas prácticas.

- Transferencia de archivos.
- Programación del PLC.
- Visualización y control de los SCADA de las prácticas.
- Visualización de las maquetas de las prácticas a través de las cámaras. (Opcional)
- Generación de reportes.

**7) Fase 3 o estado “CIERRE DEL LABORATORIO”:** Se termina la sesión del usuario por cualquiera de estas razones:

- Finalización del tiempo de sesión.
- Cierre manual de la sesión a través de la interfaz del laboratorio.
- Cierre manual de la sesión a través de la interfaz web.
- Cuando el ML2 detecta la terminación de la sesión le informa al ML1, y se realizan las operaciones respectivas para garantizar el correcto funcionamiento del laboratorio en la siguiente sesión:
  - Se cierra el servidor TightVNC, para terminar la conexión remota.
  - Se cierran todos los SCADA y visores de las cámaras abiertos.
  - Se borra el contenido de la carpeta de trabajo del estudiante (con los archivos de la programación del PLC y reportes generados).
  - Se ejecuta el VI “PLC OFF”, para colocar a todos los PLC en estado STOP.
- Una vez terminado estas operaciones el ML2 le informa al ML1 para que ambos módulos regresen a la fase 1 del laboratorio, a la espera de un nuevo inicio de sesión. Este ciclo se repite indefinidamente hasta que el administrador localmente seleccione la opción de STOP o Cerrar de la respectiva interfaz de la aplicación, para detener la ejecución o cerrar la aplicación respectivamente.

Entre los distintos estados del laboratorio, se ejecutan continuamente entre el ML1 y el ML2 operaciones de monitoreo y control de sincronismo. Esto porque los dos módulos se encuentran en dos computadores distintos, y si algún fallo ocurre en la red o en la conexión entre estos 2 equipos, el software de laboratorio debe estar listo para solventar este fallo, ya que es un sistema que funciona autónomamente y la mayoría del tiempo no va contar con el control y verificación por parte del administrador.

Siguiendo la misma idea, estos dos módulos cuentan con un sistema de registro de errores, el cual lo almacenan en el respectivo computador. Este sistema registra la hora, fecha y causa del error. Este registro de errores, junto con el registro de reservaciones, registro de acceso y la generación de reportes, forman un conjunto de herramientas necesarias para que el administrador pueda gestionar todas las actividades del laboratorio remoto.

## **CAPÍTULO 5**

### **SEGURIDADES Y CONSIDERACIONES FINALES. PRUEBAS GLOBALES DEL SISTEMA Y PRESENTACIÓN DE RESULTADOS**

#### **Introducción**

Una vez concluido con todas las etapas del diseño del laboratorio remoto: la estructura física de la red del laboratorio, instalación y configuración de todo el software utilizado para la programación de los PLC y control y visualización del sistema SCADA, además del diseño y configuraciones del software de control, acceso y gestión administrativa del laboratorio y de las conexiones remotas. Se tiene todo el sistema listo para su implementación y comprobación de su funcionamiento. Se procede a realizar las pruebas en conjunto de todas las etapas del laboratorio para la correspondiente comprobación de su funcionamiento, tomando en cuenta previamente, ciertas consideraciones y seguridades finales antes de su implementación. Para estas pruebas se instala una estructura física del laboratorio similar a la propuesta; sin embargo; con cambios en la conexión final hacia la red de la universidad y hacia la red WAN (Internet); esto debido a los protocolos de seguridad utilizados en la red de la universidad.

En este capítulo se detallan las consideraciones y seguridades a tomar en cuenta antes de la implementación del laboratorio. Se resumen las pruebas realizadas para la comprobación del funcionamiento de todo el sistema del laboratorio remoto, así como la presentación de los resultados obtenidos.

#### **5.1 Seguridades y consideraciones finales**

Con toda la estructura física y el software ya establecido para el laboratorio remoto, se tienen que tomar ciertas seguridades y consideraciones finales para su implementación.

- a) El equipo Servidor PLC contará con el Sistema Operativo Windows XP SP3. Este sistema es el más estable y con el que mejor desempeño se obtiene para los distintos tipos de software y aplicaciones instalados en este equipo. No se puede instalar un sistema Linux o Mac, puesto que el software de cualquier servidor OPC utiliza protocolos que solo funcionan en plataformas Windows.
- b) El equipo Servidor web y Control contará con el Sistema Operativo de Windows Server 2008. Se opta por este sistema, ya que la aplicación web y el software de control del laboratorio, funcionan en base a herramientas de LabVIEW, únicamente compatibles con plataformas Windows. Y además, se utiliza Windows Server, porque brinda todas las herramientas para las configuraciones y bloqueos necesarios para utilizarlo como un servidor de páginas web.
- c) Para la correcta comunicación y funcionamiento del diferente software utilizado en el Laboratorio se permite la comunicación de ciertos puertos en el firewall del computador correspondiente, o incluso en el mismo router, dependiendo de cómo se desee realizar la administración de seguridades en la red. Se recomienda al ESET SMART SECURITY 4.0.437 como software para el firewall de los servidores, especialmente para el Servidor PLC. Puede utilizarse cualquier otro firewall, que el administrador crea conveniente siempre y cuando tenga los siguientes puertos abiertos:
- Para el escritorio remoto, se permite el tráfico en el puerto TCP 5800, en el firewall del Servidor PLC.
  - Para la transferencia y descarga de archivos empleando TightVNC Viewer por medio de TFTP se abre el puerto UDP 69, en el firewall del Servidor PLC.
  - Para la descarga de ficheros de la interfaz web del laboratorio (FTP), se abre los puertos TCP 20 y 21.

La aplicación web y el software de control se desarrollan empleando la plataforma de LabVIEW 2009, por lo que se permite la comunicación de ciertos puertos detallados a continuación:

- Para el servidor web y la aplicación web se abre los puertos TCP 80 y TCP 8080, en el servidor web y control.
- Para la comunicación entre módulos a través de Shared Variables se abren los puertos UDP 2343, 6000-6010 y TCP 59110 – 591120. Esto en ambos equipos servidores.
- Para el control y comunicación entre módulos a través de VI-Server se abre el puerto TCP 3363. Esto en ambos equipos servidores.

**d)** El router de unión entre la red del laboratorio y la red de la universidad, se puede colocar cualquiera, según el criterio del administrador de la red. En él se pueden configurar listas de acceso (ACL) estándar o extendidas, según sea el caso, para brindar una mayor seguridad en la red. Se sugieren algunas ACL como:

- Una ACL estándar que permita todo el tráfico de red la IP del Servidor PLC como origen hacia la IP del Servidor web y Control como destino, y viceversa.
- ACL extendidas que permitan únicamente el tráfico saliente y entrante por los puertos correspondientes para permitir VNC (5800), TFTP (69), Servidor web (HTTP) (80 y 8080) y FTP (20 y 21).

Se recuerda, tomar las precauciones necesarias y añadir más ACL, para permitir la convergencia de la red del laboratorio con la red de la universidad.

**e)** El software del laboratorio tiene implementado intrínsecamente varias seguridades, como: activación/desactivación controlada del servidor VNC; cambio dinámico de las claves de acceso al servidor VNC; sistema de autenticación inicial de la interfaz web para usuarios únicamente inscritos previamente por el administrador; bloqueo completo de las todas las funciones, permisos y servicios no necesarios para el uso del laboratorio, en el escritorio del servidor PLC, empleando el software In\_Touch\_Lock v3.4, entre otros. El bloqueo que realiza el software In\_Touch\_Lock v3.4, puede ser configurado según el criterio del administrador, o puede utilizar otro software con funciones similares; esto se lo puede hacer porque es independiente al funcionamiento de todo el software de control del laboratorio.

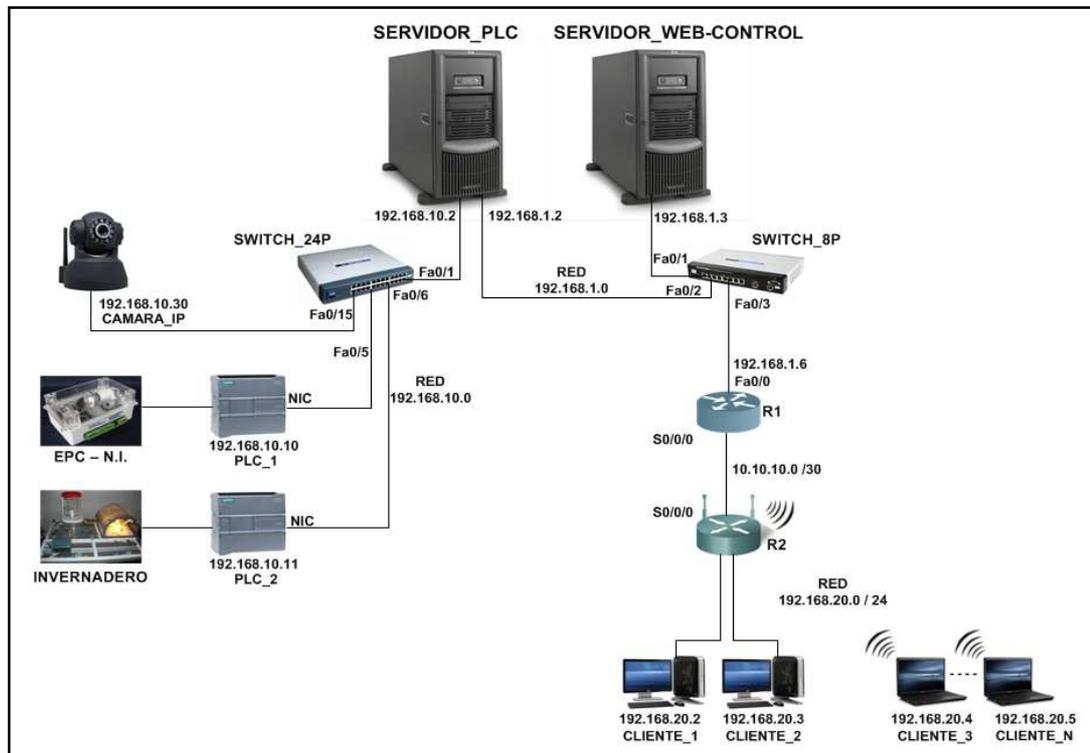
- f) El administrador de red de la universidad, debe realizar todas las configuraciones necesarias, para otorgar el acceso, direccionamiento y nombre de dominio a los equipos servidores utilizados por el laboratorio. Es decir, un nombre de dominio para la interfaz web del laboratorio dentro del dominio de la página web de la universidad. También, un nombre de dominio para el acceso remoto desde internet al equipo servidor PLC.
- g) Por motivos de diseño del software, para garantizar el funcionamiento correcto del programa de cambio de clave VNC, dentro del ML2 del software de control, la resolución de pantalla configurada en el equipo servidor PLC debe ser de 1024x768 pixeles.
- h) Tanto los sistemas SCADA de las prácticas como los visores de las cámaras, son diseñados por el administrador. El software de control del laboratorio, únicamente carga estos archivos como VIs, independiente de su contenido o programación, lo cual, permite su personalización e independencia.
- i) En el equipo del lado del cliente, es decir, en el computador de los usuarios, se recomienda tener instalado la aplicación “TightVNC Viewer”, para el acceso remoto al laboratorio. También, se recomienda para el correcto funcionamiento de las páginas web, usar el navegador web “Mozilla Firefox”, con el servidor java instalado también.
- j) El software del laboratorio, permite el uso o no de cámaras IP para la visualización remota en tiempo real (relativo al ancho de banda) de las maquetas de las prácticas. Se puede utilizar cualquier tipo de cámara IP, siempre y cuando, dispongan de controles Active X para su visualización y/o control a través de VIs desarrollados en LabVIEW (Visores de las Cámaras).

## **5.2 Pruebas globales del sistema y presentación de resultados**

Determinado y comprobado el funcionamiento de cada una de las etapas que conforman la estructura de hardware y sistemas de software del laboratorio remoto, se procede a fusionar y consolidar las fases o estados del laboratorio en ejecución,



detalla en la siguiente figura 5.2. Para la realización de las pruebas globales del laboratorio remoto, se utiliza esta estructura y esquema de red.



**Figura 5.2:** Esquema de red, utilizado para la demostración del funcionamiento del laboratorio remoto.

Según el esquema de la topología de red propuesta, más adelante se presenta como Anexo 4, la tabla de direccionamiento IP, para los equipos y dispositivos de comunicación; así como también en el Anexo 5, la Lista de hardware y software recomendado para la instalación y configuración del laboratorio remoto.

### 5.2.2 Practicas demostrativas.

Para la demostración del funcionamiento del sistema del laboratorio remoto se presenta dos aplicaciones prácticas controladas con el PLC S7-1200, y monitoreadas y controladas con los sistemas SCADA desarrolladas para el efecto, con las que se comprueba el funcionamiento interno del laboratorio. Estas prácticas son:

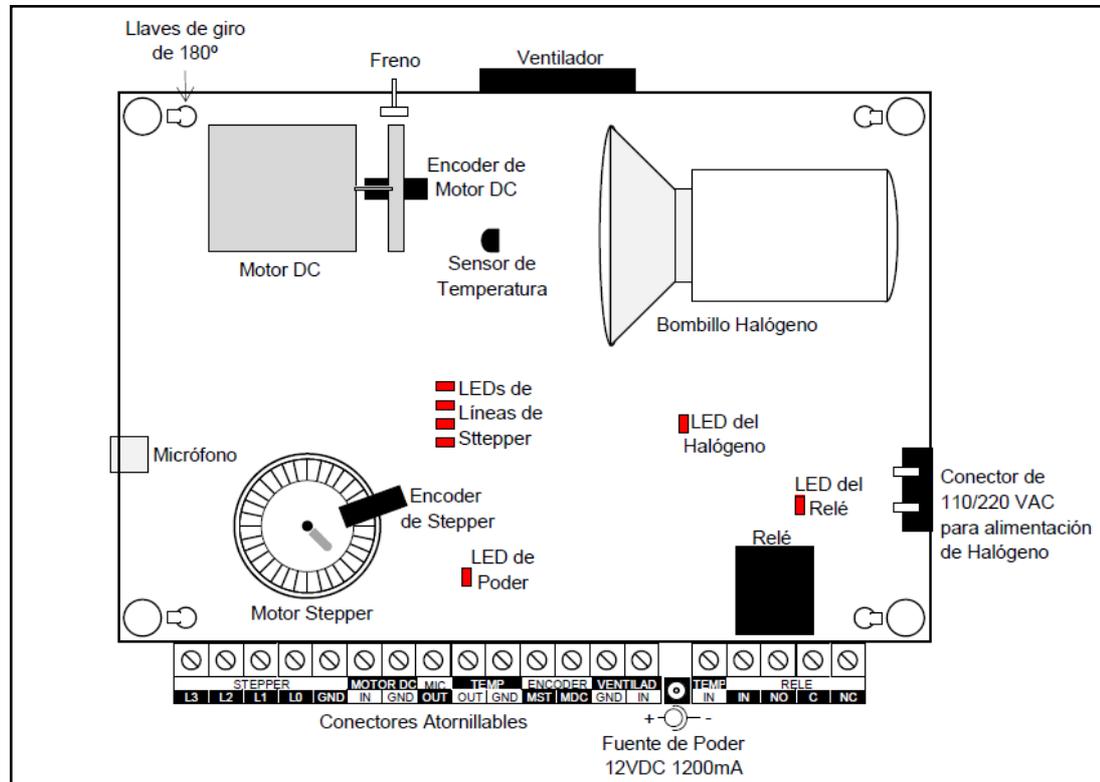
- 1) **Monitoreo y control de temperatura de un invernadero y llenado de un tanque de agua:** Esta primera práctica demostrativa se realiza sobre una maqueta de invernadero que incluye dispositivos electrónicos que realizan la lectura de señales analógicas empleando el PLC S7-1200 de Siemens, permitiendo desarrollar sistemas de control PID de temperatura, y el control de llenado de un tanque de agua. En la figura 5.3 siguiente se presenta la imagen de la maqueta del invernadero, sobre el que se realiza las prácticas de control para el sistema SCADA.



**Figura 5.3:** Imagen de la maqueta de la práctica demostrativa del “control de temperatura y llenado de un tanque de agua”.

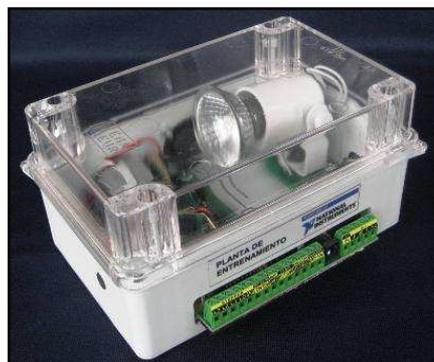
- 2) **Monitoreo y control del Entrenador de Planta de Control (EPC).** Esta práctica es realizada sobre un Entrenador de Planta de Control “EPC” de National Instruments, que es una placa electrónica que incluye varios sensores y actuadores típicos en los sistemas de instrumentación, y está diseñado para conectar a un computador mediante un dispositivo de adquisición de datos, que en este caso es el PLC S7-1200. Se puede aplicar sobre sistemas de control de temperatura, control de velocidad de un motor DC, control de posición de un motor STEPPER, sistemas con señales analógicas, y accionamiento de relé de propósito general. El

diseño del EPC se presenta, en la figura 5.4. mientras que la figura 5.5, se exhibe una imagen del equipo físico del EPC, sobre el que se realiza las prácticas de control para el sistema SCADA.



**Figura 5.4:** Diagrama esquemático con ubicación de las partes principales del equipo EPC.

**Fuente:** National Instruments Dealer For Ecuador, High Lights, Manual de Usuario, Planta Electrónica para Entrenamiento de Sistemas de Instrumentación y Control, Ecuador, 09/2009



**Figura 5.5:** Equipo Entrenador de Planta de Control

**Fuente:** [http://www.datalights.com.ec/site2/index.php?option=com\\_content&view=article&id=54:epc&catid=37:epc&Itemid=57](http://www.datalights.com.ec/site2/index.php?option=com_content&view=article&id=54:epc&catid=37:epc&Itemid=57)

Además se incluye una cámara IP, para la comprobación de la visualización de las maquetas en tiempo real.

### 5.2.3. Programación del PLC, configuración del servidor OPC y desarrollo del sistema SCADA.

#### 5.2.3.1 Programación del PLC.

Como primer punto, se desarrolla la programación de los PLC SIMATIC S7-1200 de Siemens, para las respectivas prácticas. Esta programación se desarrolla en el software STEP7 BASIC, exclusivo para estos tipos de PLC. En la programación se incluyen funciones como: Controles internos PID, con límite alto, bajo y alarmas; moduladores PWM; temporizadores; rutinas y funciones para la comunicación entre PLCs; variables de comunicación con el servidor OPC y a su vez con el sistema SCADA, entre otros. En la figura 5.6 se muestra la interfaz del software STEP7. Esta programación del PLC, puede ser adelantada por el usuario antes de ingresar al laboratorio; con el objetivo de tener más tiempo para la realización de pruebas y monitoreo, resolución de fallas en la programación, etc.

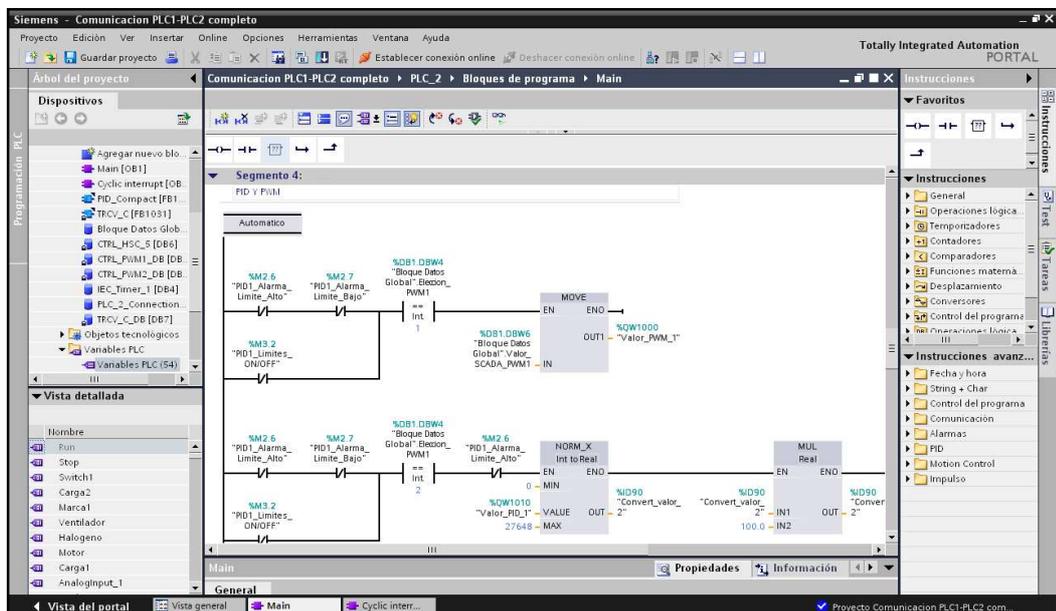
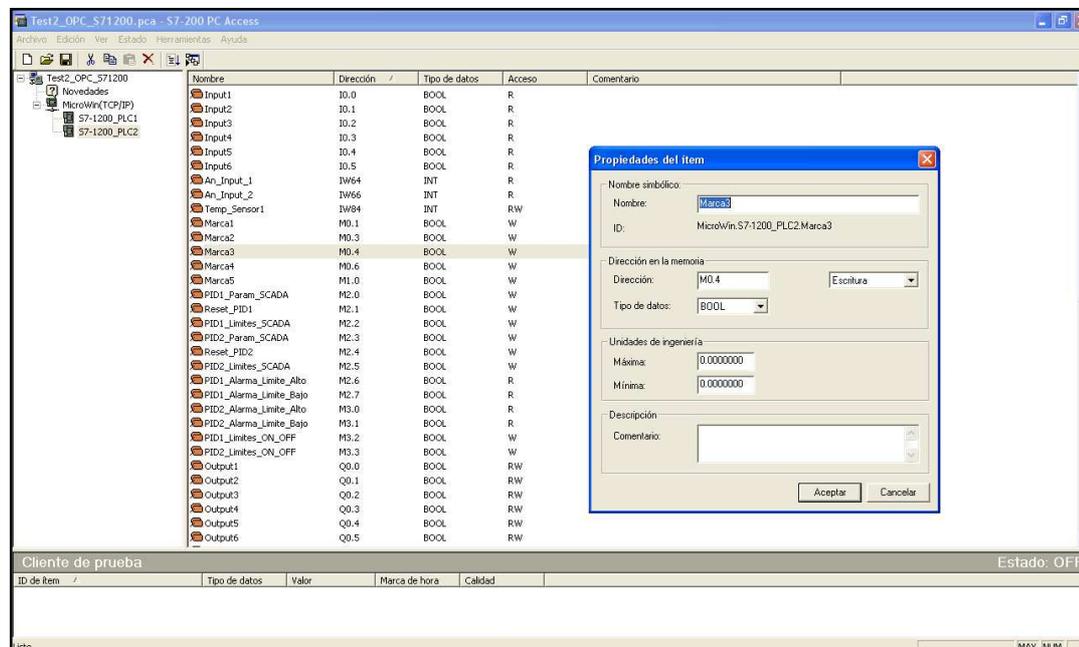


Figura 5.6: Interfaz del software STEP7 para la programación de los PLC S7-1200.

Como ejemplo se presenta en el Anexo 2 de la presente monografía de tesis, el código de programación del PLC S7-1200, de la práctica demostrativa de monitoreo y control de temperatura de un invernadero y llenado de un tanque de agua.

### 5.2.3.2 Configuración del Servidor OPC.

Concluida la programación de los PLCs, se procede a configurar el servidor OPC “PC Access”. Se configuran, en un proyecto del PC Access, todos los PLCs utilizados en las diferentes prácticas, con su respectiva dirección IP; se recuerda que esta dirección IP, debe corresponder con la colocada en la configuración interna del mismo PLC. Se colocan todas las variables utilizadas para la comunicación de cada PLC con los distintos SCADAs utilizados, teniendo especial cuidado en la dirección de la memoria y el tipo de dato de cada variable. La figura 5.7 muestra un ejemplo de la configuración del Servidor OPC.

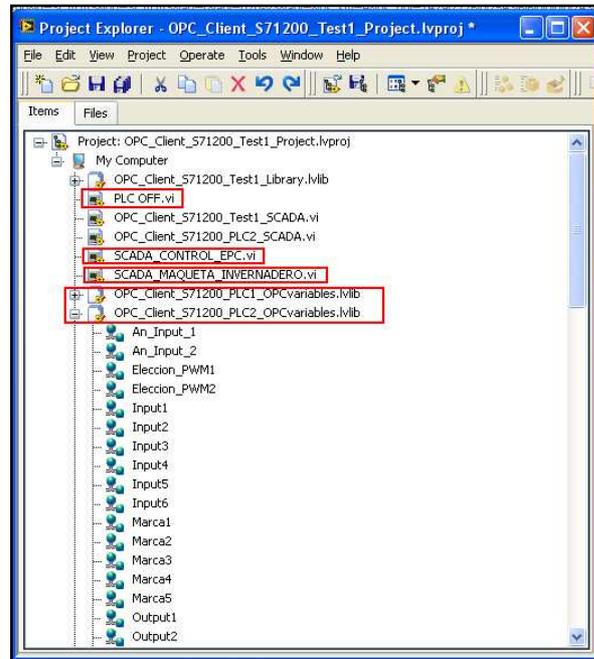


**Figura 5.7:** Interfaz del Servidor OPC “PC Access” con las configuraciones de variables de cada PLC utilizado.

### 5.2.3.3 Desarrollo del Sistema SCADA.

El siguiente paso es configurar el Módulo SCADA, el cual, está realizado en base a un proyecto en LabVIEW, debidamente configurado para la comunicación con el servidor OPC, utilizando las funciones del módulo DSC (Datalogging and Supervisory Control) de LabVIEW. Este proyecto, debe contener las librerías con las respectivas variables usadas por los diferentes SCADA de las prácticas para la

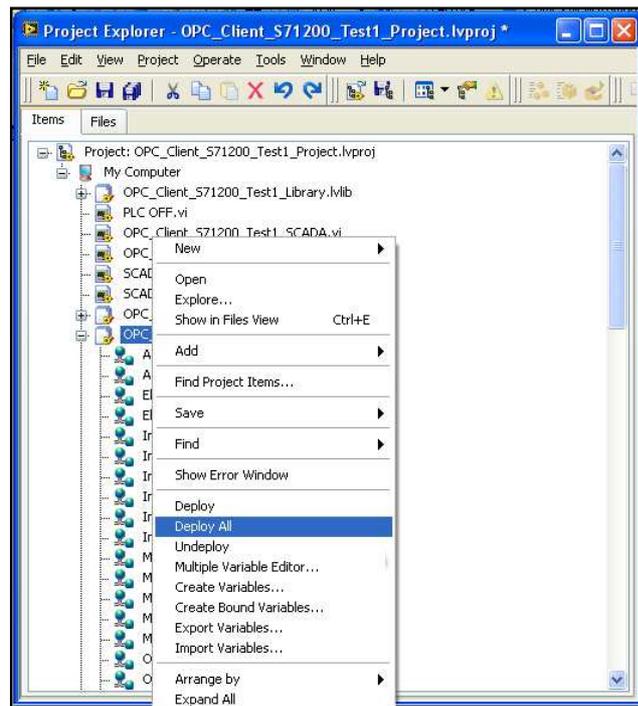
comunicación con el servidor OPC. Todos los SCADA que se van a utilizar, deben estar incluidos dentro de este proyecto, también se deben incluir el VI “PLC OFF”, utilizado por el software de control del laboratorio para la puesta automática en STOP de todos los PLC. Todo esto se detalla en la figura 5.8.



**Figura 5.8:** Módulo SCADA, basado en un proyecto de LabVIEW.

Un punto muy importante a tomar en consideración, es la previa deployment de todas las librerías que contienen las Shared Variables utilizadas por los SCADA para la comunicación con el OPC, como se muestra en la figura 5.9. Si no se realiza este paso previo, el servidor SVE (Shared Variable Engine) de LabVIEW, encargado de todas las variables compartidas, no se va a iniciar con las variables utilizadas; por lo tanto, los Sistemas SCADA nunca se van a comunicar con el servidor OPC, y por ende con el respectivo PLC, y se producen errores de comunicación en LabVIEW.

Una vez realizada la deployment de todas las librerías con las variables, el proyecto “SCADA” de LabVIEW ya se puede cerrar, esto porque mientras se tenga encendido el computador, el SVE mantiene en línea, por así decirlo, a todas las variables compartidas; con lo cual, cada SCADA puede ser abierto y funcionar sin problemas, independientemente si el proyecto al cual pertenece permanece abierto o ejecutándose en segundo plano.



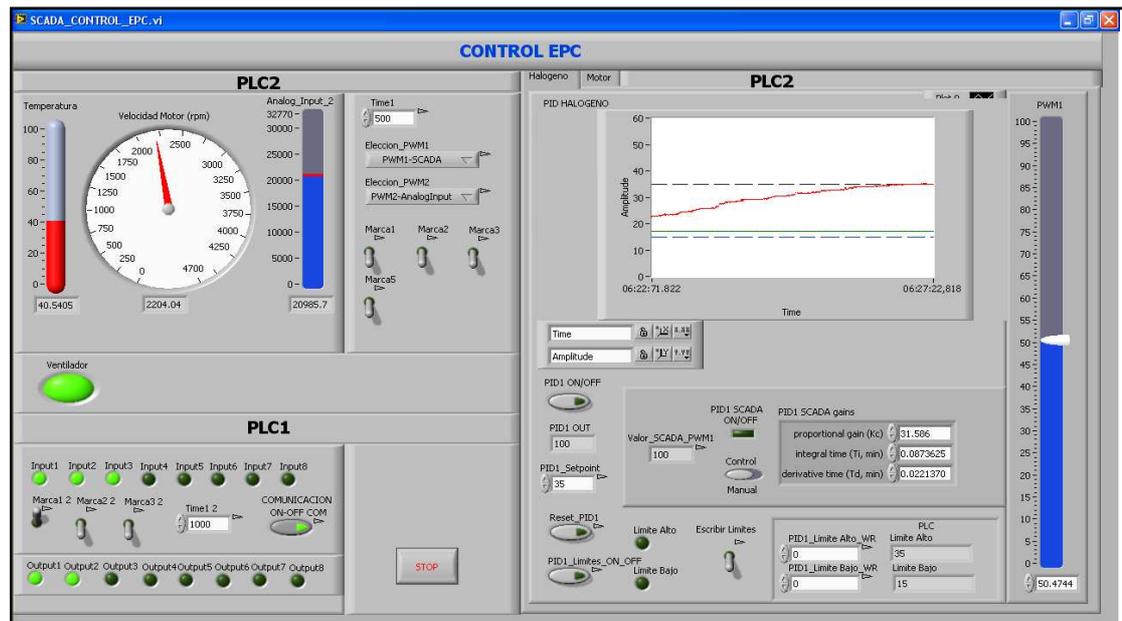
**Figura 5.9:** Deployment de las variables compartidas en el proyecto de LabVIEW

#### 5.2.3.4 Sistemas SCADA de las prácticas demostrativas

Para la demostración de funcionamiento del laboratorio se diseñaron 2 SCADA, uno por cada práctica. Estos SCADA cuentan con las funciones básicas para la demostración del funcionamiento de las maquetas de las prácticas.

En la figura 5.10, se muestra el panel frontal del VI desarrollado en LabVIEW, del sistema SCADA de la práctica realizada sobre el EPC, este sistema cuenta con las siguientes funciones principales:

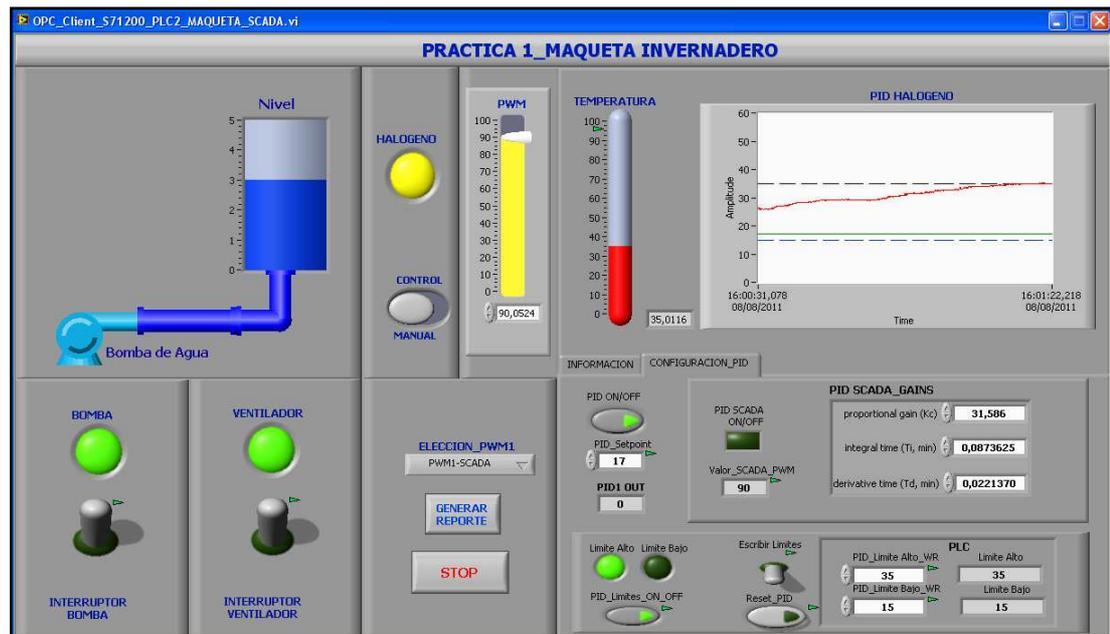
- Monitoreo de un sensor de temperatura (LM35).
- Control manual y control PID de la velocidad de un motor DC.
- Control manual y control PID de temperatura con un halógeno y ventilador como actuadores.
- Control del halógeno del PLC de la práctica de Invernadero, para prueba de comunicación entre PLCs.



**Figura 5.10:** Panel frontal del sistema SCADA, para control y monitoreo de la práctica demostrativa realizada en el Entrenador de Planta de Control (EPC).

En la siguiente figura 5.11, se presenta el panel frontal del VI desarrollado en LabVIEW, del sistema SCADA de la práctica realizada sobre la maqueta del invernadero y control del llenado de un tanque. Este SCADA, cuenta con las siguientes características principales:

- Monitoreo de la temperatura del invernadero (sensor LM35).
- Monitoreo del nivel de líquido de un tanque y control manual de la activación de una bomba de agua para su llenado.
- Control manual y control PID de temperatura con un halógeno y ventilador como actuadores. Con seteo de límites alto y bajo para la temperatura, con sistema de prevención y alarma.



**Figura 5.11:** Panel frontal del sistema SCADA, para control y monitoreo de la práctica demostrativa realizada sobre la maqueta de invernadero.

Se recomienda realizar pruebas de la ejecución y completo funcionamiento de cada SCADA de las prácticas, antes de dejar listo el Módulo SCADA y cerrar el correspondiente proyecto de LabVIEW.

#### 5.2.4 Ejecución de la aplicación web y de las aplicaciones del software de control del laboratorio.

Con todas las funciones de programación y monitoreo de las prácticas listas, se procede a iniciar la ejecución de la aplicación web y de las aplicaciones del software de control del laboratorio, en cada equipo servidor correspondiente.

En primer lugar, se inicia la aplicación web en el equipo servidor web y control, para que funcione el Servidor web del laboratorio y sus módulos correspondientes.

Luego, en cada aplicación del software de control, se configura la dirección IP del equipo con el que se va a comunicar, y luego se procede a ejecutar cada una; primero la aplicación del Módulo de Lógica 1 (ML1) en el Servidor web y Control, a continuación se inicia la aplicación del Módulo de Lógica 2 (ML1) en el Servidor PLC. En este punto, se encuentra el laboratorio en su primera fase o estado

“ENTABLAR CONEXION”. Cada aplicación identifica al equipo contiguo en la red, y se establece la conexión entre cada módulo. Si ocurre algún error en la conexión, en cada interfaz, se visualiza la falla de la conexión, y se tendrá que revisar en busca de problemas en la red entre los dos equipos, firewall, etc. Si la conexión y comunicación entre las dos aplicaciones se establece correctamente, el laboratorio pasa al estado “INACTIVO”, como se muestra en las imágenes 5.12 y 5.13.



**Figura 5.12:** Interfaz de la Aplicación del Módulo de Lógica 1 del Software de Control, en el estado “INACTIVO” del Laboratorio.

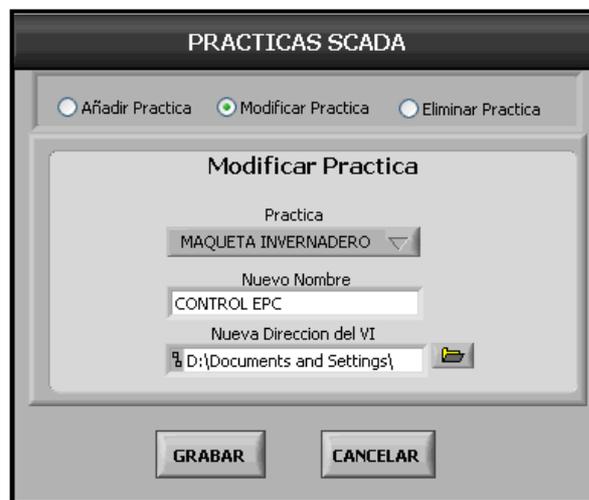


**Figura 5.13:** Interfaz de la aplicación del Módulo de Lógica 2 del software de control (Interfaz del Laboratorio), en el estado “INACTIVO” del Laboratorio.

Para garantizar el correcto desempeño del software de control del laboratorio, el administrador realiza todas las configuraciones necesarias en la interfaz del laboratorio, tales como:

- Adición/modificación/eliminación de los SCADA de las prácticas a mostrar por la interfaz del laboratorio. Un ejemplo del cuadro de diálogo que se presenta al administrador para realizar esta configuración se muestra en la figura 5.14.

- Adición/modificación/eliminación de los Visores de las Cámaras a mostrar por la interfaz del laboratorio. En esta opción se eligen los visores disponibles (archivos VI) según las cámaras IP que se dispongan. Esta función es completamente opcional, y puede ser bloqueado su visualización de la interfaz del laboratorio.
- Selección de la ruta del archivo que contiene el VI “PLC OFF”.
- Si es la primera vez que se ejecuta el software de control del laboratorio, es necesario seleccionar la ruta del ejecutable del Servidor VNC utilizado (tvnserver.exe).



**Figura 5.14:** Cuadro de diálogo de la Interfaz del Laboratorio para la adición/modificación/eliminación de los SCADA de las prácticas.

También, el administrador puede realizar pruebas de la activación y cierre del servidor VNC, a través de los controles manuales que ofrece la interfaz del laboratorio. Cabe resaltar que todas estas pruebas y configuraciones que el administrador realiza, son localmente al laboratorio. Una vez realizado todas las configuraciones iniciales necesarias, el administrador tiene que dejar bloqueado el escritorio del equipo servidor PLC, por medio del software In\_Touch\_Lock v3.4. En este punto se recomienda, que el administrador realice previamente todas las pruebas de acceso y control al laboratorio que sean necesarias, para la comprobación de su correcto desempeño y funcionamiento, antes de habilitarlo al resto de usuarios.

Concluido con todo lo anterior, el software de control del laboratorio, y en sí todo el laboratorio, está lista para la utilización remota del mismo por parte de los usuarios.

### **5.2.5 Interfaz web del laboratorio**

Desde cualquier computador con conexión a Internet se puede acceder a la página principal o de inicio de la interfaz web del laboratorio remoto, facilitando el acceso desde cualquier lugar y a toda hora, optimizando así el empleo de recursos tecnológicos. En este caso, para demostración, los usuarios se conectan a la red del laboratorio según el esquema propuesto en la figura 5.2. De todas formas, se accede a la interfaz web, por medio de un navegador web, en el computador del cliente (usuarios).

#### **5.2.5.1 Ingreso a la interfaz web del laboratorio**

Se recuerda, que el sistema de ingreso al laboratorio, está compuesto por un sistema jerárquico de tres tipos de usuarios: alumnos, usuarios, administradores. Cada uno con más privilegios y permisos que el anterior. También, un grupo de alumnos puede pertenecer a un profesor. Para acceder al sistema, todo usuario debe ser registrado previamente por el administrador del sistema, configurado con los permisos y restricciones de acuerdo al tipo de usuario que pertenezca, esta información se almacena en la base de datos del sistema. Para ingresar a la página web de inicio del laboratorio, se introduce en un navegador web (se recomienda Mozilla Firefox), la url: `http://dominio_IP_servidor_plc/lab_remoto/web_intro/index.html`; donde, `dominio_IP_servidor_plc` es el nombre de dominio de la dirección IP del equipo servidor PLC, establecida por el administrador de la red de la universidad. Para casos demostrativos, se utilizará directamente la dirección IP del equipo servidor PLC. En la siguiente figura 5.15 se presenta la página web de inicio al laboratorio.



Figura 5.15: Página web inicial del laboratorio remoto.

Una vez registrado un profesor, o alumno puede acceder con su nombre de usuario y su respectiva contraseña, que debe ser editada en los respectivos casilleros de registro en la página web. En la figura 5.16 se detalla los casilleros empleados para la autenticación inicial del usuario, también se observa el detalle del vínculo de información de la página.



Figura 5.16: Autenticación inicial de usuarios en la página web del laboratorio remoto.

### 5.2.5.2 Página principal de la interfaz web

Una vez que el usuario ha accedido al sistema, se muestra la interfaz web del laboratorio. Se presenta la página principal de la interfaz, con un menú, que según el tipo de usuario, muestra distintas opciones para la gestión administrativa del laboratorio. En las figuras 5.17, 5.18 y 5.19 se muestran las páginas principales del laboratorio, donde se observan los distintos menús que aparecen según el tipo de usuario.

**LABORATORIO REMOTO PARA PRÁCTICAS VIRTUALES DE AUTOMATIZACIÓN CON EL PLC S7-1200**  
Fecha: 04/07/2011

**Bienvenido al sistema: LAB\_UDA**

**MENU ADMINISTRADOR**

- Reservaciones de Laboratorio
- Registro de Acceso
- Datos de Usuarios
- Registro de Nuevos Usuarios
- Datos Personales
- Explicación de Prácticas
- Instrucciones de uso
- Ingresar al Laboratorio
- Logout

**Estructura del laboratorio remoto**

El sistema interfaz permite al usuario a través del software de acceso, control y aplicación web, administrar sus reservaciones de utilización del laboratorio, en el que selecciona su fecha, hora y tiempo de sesión, garantizando el uso exclusivo para cada usuario.

Admite la conexión remota a los usuarios registrados con diferenciación jerárquica, para desarrollar y descargar un programa en el PLC Simatic S7-1200, empleando el software de programación STEP 7 Basic de Siemens.

A través de los sistemas SCADA se establece el monitoreo y control del funcionamiento de las aplicaciones prácticas, donde la instalación física se visualiza en tiempo real, utilizando una cámara de video IP.

Se establece las seguridades necesarias en la red de comunicación, así como en los equipos servidores y dispositivos de interconexión, que garantizan el correcto funcionamiento del laboratorio remoto, principalmente en las multisesiones de diferentes usuarios.

Figura 5.17: Página principal de la interfaz web del laboratorio, para el administrador.

**LABORATORIO REMOTO PARA PRÁCTICAS VIRTUALES DE AUTOMATIZACIÓN CON EL PLC S7-1200**  
Fecha: 04/07/2011

**Bienvenido al sistema: LAB\_UDA**

**MENU PROFESOR**

- Reservaciones de laboratorio
- Datos del grupo
- Datos personales
- Explicaciones de Prácticas
- Instrucciones de uso
- Ingresar al laboratorio
- Logout

**Estructura del laboratorio remoto**

El sistema interfaz permite al usuario a través del software de acceso, control y aplicación web, administrar sus reservaciones de utilización del laboratorio, en el que selecciona su fecha, hora y tiempo de sesión, garantizando el uso exclusivo para cada usuario.

Admite la conexión remota a los usuarios registrados con diferenciación jerárquica, para desarrollar y descargar un programa en el PLC Simatic S7-1200, empleando el software de programación STEP 7 Basic de Siemens.

A través de los sistemas SCADA se establece el monitoreo y control del funcionamiento de las aplicaciones prácticas, donde la instalación física se visualiza en tiempo real, utilizando una cámara de video IP.

Se establece las seguridades necesarias en la red de comunicación, así como en los equipos servidores y dispositivos de interconexión, que garantizan el correcto funcionamiento del laboratorio remoto, principalmente en las multisesiones de diferentes usuarios.

Figura 5.18: Página principal de la interfaz web del laboratorio, para los profesores.

**LABORATORIO REMOTO PARA PRÁCTICAS VIRTUALES DE AUTOMATIZACIÓN CON EL PLC S7-1200**

Fecha: 04/07/2011

**Bienvenido al sistema: LAB\_UDA**

**MENU ALUMNO**

- Reservación de Laboratorio
- Datos Personales
- Explicación de Prácticas
- Instrucciones de uso
- Ingresar al Laboratorio
- Logout

**Estructura del laboratorio remoto**

El sistema interfaz permite al usuario a través del software de acceso, control y aplicación web, administrar sus reservaciones de utilización del laboratorio, en el que selecciona su fecha, hora y tiempo de sesión, garantizando el uso exclusivo para cada usuario.

Admite la conexión remota a los usuarios registrados con diferenciación jerárquica, para desarrollar y descargar un programa en el PLC Simatic S7-1200, empleando el software de programación STEP 7 Basic de Siemens.

A través de los sistemas SCADA se establece el monitoreo y control del funcionamiento de las aplicaciones prácticas, donde la instalación física se visualiza en tiempo real, utilizando una cámara de video IP.

Se establece las seguridades necesarias en la red de comunicación, así como en los equipos servidores y dispositivos de interconexión, que garantizan el correcto funcionamiento del laboratorio remoto, principalmente en las multijestiones de diferentes usuarios.

Figura 5.19: Página principal de la interfaz web del laboratorio, para los alumnos.

Cuatro opciones son comunes entre los menús: “Reservaciones de Laboratorio”, “Datos Personales”, “Ingreso al Laboratorio” y obviamente “Logout”.

### 5.2.5.3 Reservaciones

Una de las funciones principales con la que cuenta la Aplicación Web del laboratorio, es el sistema de reservaciones de laboratorio, que gestiona y administra las reservas del uso del laboratorio remoto de los usuarios. Las reservas deben ser realizadas con dos horas de anticipación y permiten seleccionar el día, la hora y el tiempo de sesión. Un alumno puede realizar solo una reservación por día. Todo cambio realizado se registra en la respectiva tabla reservaciones en la base de datos del sistema. En las imagen 5.20 y 5.21, se muestra un ejemplo de la página de reservaciones del laboratorio para dos tipos de usuarios.

**LABORATORIO REMOTO PARA PRÁCTICAS VIRTUALES DE AUTOMATIZACIÓN CON EL PLC S7-1200**  
Fecha: 04/07/2011

Usuario: administrador

**MENU ADMINISTRADOR**

- Reservaciones de Laboratorio
- Registro de Acceso
- Datos de Usuarios
- Registro de Nuevos Usuarios
- Datos Personales
- Explicación de Prácticas
- Instrucciones de uso
- Ingresar al Laboratorio
- Logout

Tabla Semana: 0  
< Anterior | Siguiente >

Número de Reservaciones de Bloqueo Especial: 2  
 Número de Reservaciones de Bloqueo Semanal: 4  
 Número de Reservaciones de Bloqueo Total: 3  
 Tiempo de sesión Máximo: 10 horas

**Nueva Reservacion**

Tipo: Bloqueo Especial  
 Fecha: [ ] Fecha: [ ]  
 Hora: 00  
 Tiempo: 1 hora  
 Día: Lunes  
 Reservar

**RESERVACIONES ADMINISTRADOR**

Tabla de Reservaciones

Hora	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
04	libre	libre	libre	libre	libre	libre	libre
01	libre	libre	libre	libre	libre	libre	Tu Reserved
02	libre	libre	libre	libre	libre	libre	libre
03	libre	libre	libre	libre	libre	libre	libre
04	libre	libre	libre	libre	libre	libre	libre
05	libre	libre	libre	libre	libre	libre	libre
06	libre	Sábre	libre	profesor1	libre	libre	profesor2
07	libre	Sábre	Tu Reserved	profesor1	alumno2	libre	profesor2
08	Uso Local	libre	Tu Reserved	alumno1	alumno2	libre	profesor2
09	Uso Local	Uso Local	libre	alumno1	alumno1	Tu Reserved	libre
10	Uso Local	Uso Local	libre	libre	alumno1	Tu Reserved	libre
11	libre	libre	libre	libre	profesor1	libre	libre
12	libre	libre	libre	libre	profesor1	libre	libre
13	libre	libre	profesor1	libre	libre	libre	libre

Figura 5.20: Página web del sistema de reservaciones del laboratorio remoto para el administrador.

**LABORATORIO REMOTO PARA PRÁCTICAS VIRTUALES DE AUTOMATIZACIÓN CON EL PLC S7-1200**  
Fecha: 04/07/2011

Usuario: alumno

**MENU ALUMNO**

- Reservación de Laboratorio
- Datos Personales
- Explicación de Prácticas
- Instrucciones de uso
- Ingresar al Laboratorio
- Logout

**Nueva Reservacion**

Fecha: [ ] Fecha: [ ]  
 Hora: 00  
 Tiempo: 1 hora  
 Reservar

**Cancelar Reservacion**

Numero: 01  
 Cancelar

**Reservaciones Realizadas**

Numero	Fecha	Hora	Tiempo Sesion
1	08/07/2011	9:00	2
2	07/07/2011	8:00	2

Tabla de Reservaciones

04	----	libre	libre	libre	libre	libre	libre
05	----	libre	libre	libre	libre	libre	libre
06	----	Bloqueado	libre	reserved	libre	libre	reserved
07	----	Bloqueado	Mantenimiento	reserved	reserved	libre	reserved
08	Uso Local	libre	Mantenimiento	tu reserv	reserved	libre	reserved
09	Uso Local	Uso Local	libre	tu reserv	tu reserv	Mantenimiento	libre
10	Uso Local	Uso Local	libre	libre	tu reserv	Mantenimiento	libre
11	----	libre	libre	libre	reserved	libre	libre
12	----	libre	libre	libre	reserved	libre	libre
13	----	libre	reserved	libre	libre	libre	libre
14	----	libre	reserved	libre	reserved	libre	libre
15	----	libre	reserved	libre	reserved	libre	libre
16	----	Uso Local	libre	reserved	libre	libre	libre
17	----	Uso Local	libre	reserved	libre	libre	libre
18	----	Uso Local	libre	libre	libre	libre	libre
19	----	libre	libre	libre	libre	libre	libre
20	libre	reserved	libre	Uso Local	libre	libre	libre
21	libre	reserved	libre	Uso Local	libre	libre	libre
22	libre	libre	libre	libre	libre	libre	libre

Figura 5.21: Página web del sistema de reservaciones del laboratorio remoto para un alumno.

En la tabla de reservaciones un alumno observa desde la fecha y hora actual la disponibilidad del laboratorio para realizar reservaciones. Igualmente un profesor, pero además, también puede visualizar en la tabla fechas anteriores, lo cual, le permite observar reservaciones pasadas, además, puede ver el nombre del usuario que realizó la reservación, siempre y cuando sea un alumno y que pertenezca su grupo. El administrador tiene un control total de las reservaciones, además de realizar reservaciones a cualquier hora y fecha, puede visualizar reservaciones de fechas anteriores y quien realizó dichas reservaciones, sin importar si es un alumno o profesor. El administrador dispone de tres tipos de reservaciones especiales: por

bloqueo semanal, bloqueo especial y bloqueo total. La opción de observar reservaciones pasadas, es una función administrativa como un registro de reservaciones.

En esa misma ventana se visualizan también tablas con datos de los permisos de reservaciones de cada usuario y una tabla con sus reservaciones pendientes. También, se ofrecen las opciones para generar nuevas reservaciones (para el administrador seleccionar el tipo de reservación) y cancelar las respectivas reservaciones, si se lo desea.

El sistema de reservaciones es de suma importancia, el ingreso al laboratorio remoto depende de su correcto funcionamiento, y así se garantiza el uso exclusivo del laboratorio por el usuario que realizó la reserva con anticipación, de igual manera permite controlar y vigilar el uso adecuado del laboratorio remoto. Cabe acotar que el administrador puede ingresar al sistema remoto sin previa reservación, inclusive si se encuentra reservado por un usuario, pero siempre por motivos de seguridad del laboratorio remoto.

#### **5.2.5.4. Opciones administrativas**

La interfaz web brinda, varias opciones para la gestión administrativa del laboratorio, especialmente para uso del administrador. El registro de reservaciones, es una opción administrativa por ejemplo. Estas opciones varían según los requerimientos y necesidad de cada usuario, es decir, varían según el tipo de usuario. A continuación se explican las funciones administrativas más importantes que utilizan en el laboratorio remoto.

- **Registro de nuevos usuarios:** Una opción exclusiva del administrador, que emplea para ingresar en la base datos la información del nuevo usuario, para clasificarlo y ser admitido en el registro de usuario en la página web. Se presenta a continuación la interfaz de la función en la figura 5.22 siguiente.

LABORATORIO REMOTO PARA PRÁCTICAS VIRTUALES  
DE AUTOMATIZACIÓN CON EL PLC S7-1200

Fecha: 04/07/2011

Usuario: administrador

**REGISTRAR NUEVOS USUARIOS**

**Tipo de Usuario**

Tipo: Alumno

**Datos Nuevo Usuario**

Usuario	alumno7
Nombre	Diego Xavier Alvarado Toral
Curso	5 C Ing. Electrónica
Contraseña	vnc7
Clave_VNC	vnc7
Tiempo Ses. Max	3
N° Reserv Permitidas	5
Permiso Especial	no
Grupo	profesor1

Grabar

Figura 5.22: Página web para el registro de nuevos usuarios a la base de datos del laboratorio.

- Datos de usuarios:** Esta ventana contiene diversas opciones, que permiten básicamente la visualización y modificación de los distintos tipos de datos de los usuarios en la base de datos del sistema. Por ejemplo, una opción de visualización, es la búsqueda personalizada de un usuario específico en la base de datos, con variados parámetros de búsqueda. También, permite la visualización de la tabla de datos completa de todos los usuarios en base a parámetros de clasificación como: tipo, grupo, curso, etc. Un ejemplo de todo esto, se muestra en la imagen 5.23.

LABORATORIO REMOTO PARA PRÁCTICAS VIRTUALES  
DE AUTOMATIZACIÓN CON EL PLC S7-1200

Fecha: 04/07/2011

Usuario: administrador

**DATOS DE LOS USUARIOS**

**Buscar Datos de Usuario**

Busqueda por: Usuario

Tipo: Alumno

Opción: Buscar

Buscar

**Tabla de Datos de Usuarios**

Tabla de: Alumnos

Opción: Buscar Tabla

Buscar

**TABLA DE DATOS**

USUARIO	NOMBRE	CURSO	TIEMPO DE SES. MAX	N° RESERV PERMITIDAS	PERMISO ESPECIAL	GRUPO
alumno1	Pedro Espinoza	5 C Ing Electronica	3	3	no	profesor1
abmno2	Sandra Carrasco	5 C Ing Electronica	3	4	no	profesor1
abumno3	Luis Perez	7 B Ing Electronica	3	16	no	profesor2
abmno4	Carlos Maldonado	7 B Ing Electronica	3	1	no	profesor2

Figura 5.23: Página web de datos de los usuarios, con la propiedad de visualizar datos.

A parte de visualización, también posee opciones de modificación de los datos de usuarios, individual o colectivamente, como se observa en la siguiente figura 5.24.

UNIVERSIDAD DEL AZUAY

LABORATORIO REMOTO PARA PRÁCTICAS VIRTUALES DE AUTOMATIZACIÓN CON EL PLC S7-1200

Usuario: administrador

**MENU ADMINISTRADOR**

- Reservaciones de Laboratorio
- Registro de Acceso
- Datos de Usuarios**
- Registro de Nuevos Usuarios
- Datos Personales
- Explicación de Prácticas
- Instrucciones de uso
- Ingresar al Laboratorio
- Logout

**MODIFICAR DATOS DE LOS USUARIOS**

MODIFICAR DATOS INDIVIDUALES

DATO	VALOR ACTUAL	VALOR NUEVO	
USUARIO	alumno1	alumno2	<input checked="" type="checkbox"/>
NOMBRE	Pedro Espinoza		<input type="checkbox"/>
CURSO	5 C Ing Electronica		<input type="checkbox"/>
TIEMPO DE SES. MAX	3	1	<input type="checkbox"/>
Nº RESERV PERMITIDAS	3	1	<input type="checkbox"/>
PERMISO ESPECIAL	no	no	<input type="checkbox"/>
GRUPO	profesor1		<input type="checkbox"/>

Grabar

Eliminar

[Regresar a Datos de Usuarios](#)

Figura 5.24: Página web de Datos de Usuarios, con propiedad de modificar datos.

Estas opciones son dedicadas, originalmente para el uso del administrador, sin embargo; los profesores también poseen estas opciones con sus debidas restricciones.

- **Registro de acceso al laboratorio:** Esta opción le permite, al administrador, observar el registro de acceso de usuarios al laboratorio (únicamente a los que han establecido una sesión de uso del laboratorio). En este registro se muestra la fecha y hora de inicio, así como la de salida, y le permite al administrador observar el todo el registro acceso de los usuarios, según una fecha determinada. Los profesores también tienen acceso a este registro, pero únicamente pueden observar el nombre de los usuarios que accedieron si pertenecen a su grupo. En la imagen 5.25 se muestra un ejemplo de esta página.



Figura 5.25: Página web de registro de acceso al laboratorio, para el administrador.

- Datos personales:** Esta opción está habilitada para todos los usuarios, y permite cambiar datos personales propios de cada usuario como: su nombre de usuario (si está disponible), contraseña de registro a la interfaz web y la clave VNC para el acceso remoto. En la siguiente imagen 5.26 se muestra un ejemplo de esta ventana.



Figura 5.26: Página web de Datos Personales propios de cada usuario.

### 5.2.5.5 Explicación de prácticas

Otra de las funciones adicionales del Sistema interfaz web, es la “Explicación de Prácticas”, a la que tienen acceso todos los usuarios y en él se detallan las prácticas disponibles y los sistemas SCADA, con las especificaciones de las variables empleadas, para desarrollar la programación del PLC S7-1200, y así monitorear y controlar las plantas de trabajo. En la figura 5.27 se muestra en detalle.



Figura 5.27: Página web de la explicación de las prácticas que se pueden realizar.

### 5.2.5.6 Instrucciones de uso

También se dispone de la opción “Instrucciones de uso”. Es una función de acceso a todos los usuarios, en el que se detalla información de utilización del sistema interfaz del laboratorio y el escritorio remoto, son indicaciones específicas que ayudan al usuario a utilizar el sistema con objetividad y destreza.

### 5.2.5.7 Ingreso al laboratorio

Una vez que se disponga de una reservación previa, excepto el administrador, y sea la hora y fecha correspondientes con esa reservación, los usuarios podrán acceder al laboratorio y establecer una sesión de uso del laboratorio. Este vínculo de acceso,

aparece en el menú correspondiente del usuario. Si todo está correcto, el sistema le otorga al usuario, el acceso al laboratorio, por medio del establecimiento de una sesión de uso, en este caso, aparece una nueva página web de acceso al laboratorio.

Esta página muestra el establecimiento correcto de la sesión y ofrece dos opciones básicas: “Acceso Remoto vía Web”, la cual abre la interfaz de acceso remoto al laboratorio por medio de un navegador web; y “Cerrar Laboratorio”, la cual, cierra la sesión establecida, como se muestra en la imagen 5.28.



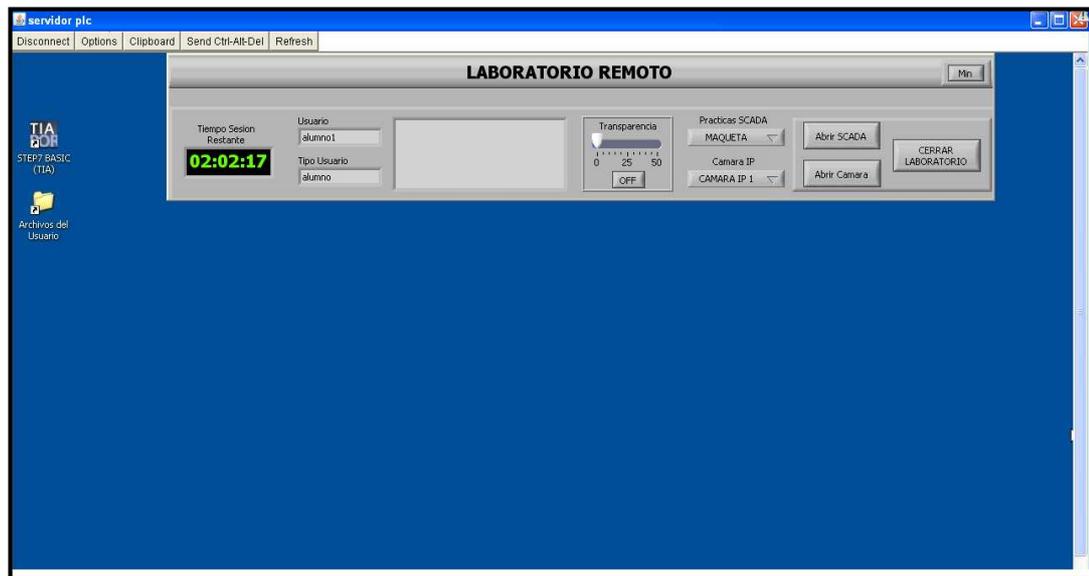
Figura 5.28: Página web de acceso al laboratorio.

### 5.2.6 Interfaz de acceso remoto al laboratorio.

Con la sesión de uso del laboratorio correctamente establecida por el usuario, se procede a acceder al laboratorio remotamente. Para ello se utiliza la interfaz de acceso remoto, la cual, dispone de dos formas de acceso; ambas opciones necesitan de una autenticación previa para establecer la conexión, para lo cual, se utiliza la clave de acceso remoto (clave VNC), propio de cada usuario.

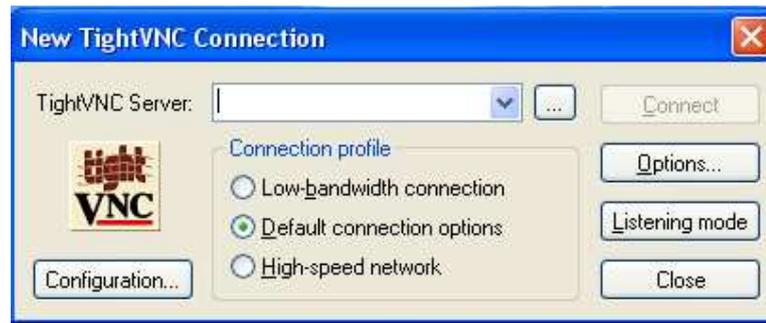
La primera opción de acceso, es utilizar el vínculo de acceso en la página web de acceso al laboratorio, para abrir la interfaz de acceso remoto a través de un explorador web. Esta alternativa tiene algunas desventajas, por ejemplo, no dispone

de la opción de transferencia de archivos. Además, presenta mayores latencias en la conexión, puesto que su modo de visualización, es a través de actualizaciones continuas de la imagen mostrada de la página web. Sin embargo; ofrece un acceso más fácil, puesto que no se necesita ningún programa instalado en el lado del cliente. La imagen 5.29 muestra un ejemplo de esta alternativa de acceso remoto.



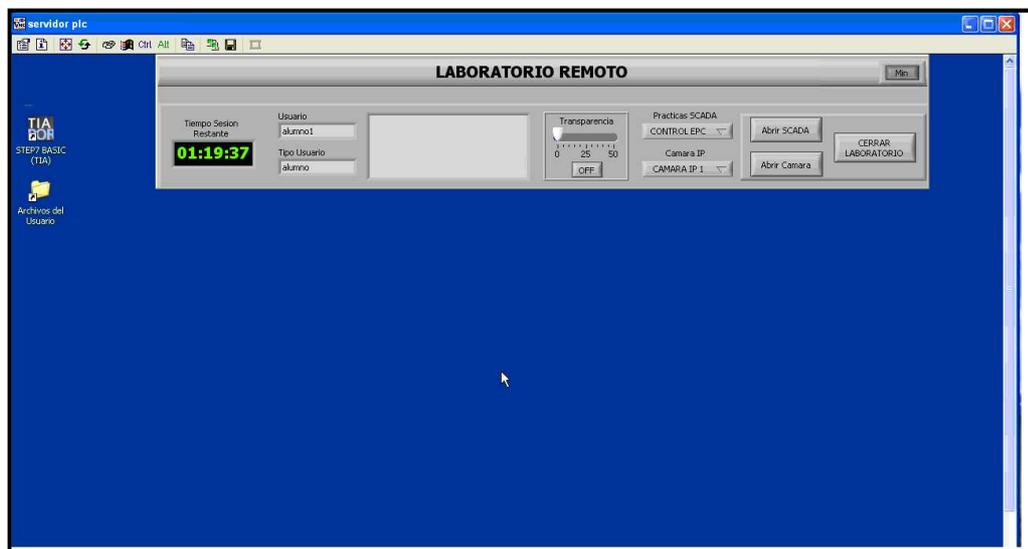
**Figura 5.29:** Interfaz de acceso remoto al laboratorio, a través de un navegador web.

La segunda opción, es utilizar el programa TightVNC Viewer, instalado en lado del cliente (computador del usuario). Esta alternativa es la más conveniente, puesto que ofrece una mayor velocidad en la visualización del escritorio remoto. La imagen 5.30, muestra la interfaz inicial de la aplicación TightVNCViewer. En esta aplicación, se coloca la dirección IP del servidor VNC a conectarse, es decir la ruta de acceso completa al servidor PLC, por ejemplo: [www.uazuay.edu.ec/laboratorios/laboratorio\\_remoto\\_de\\_automatizacion](http://www.uazuay.edu.ec/laboratorios/laboratorio_remoto_de_automatizacion) (establecido por el administrador de la red de la universidad); para el caso de demostración, se colocará directamente la dirección IP del servidor PLC.



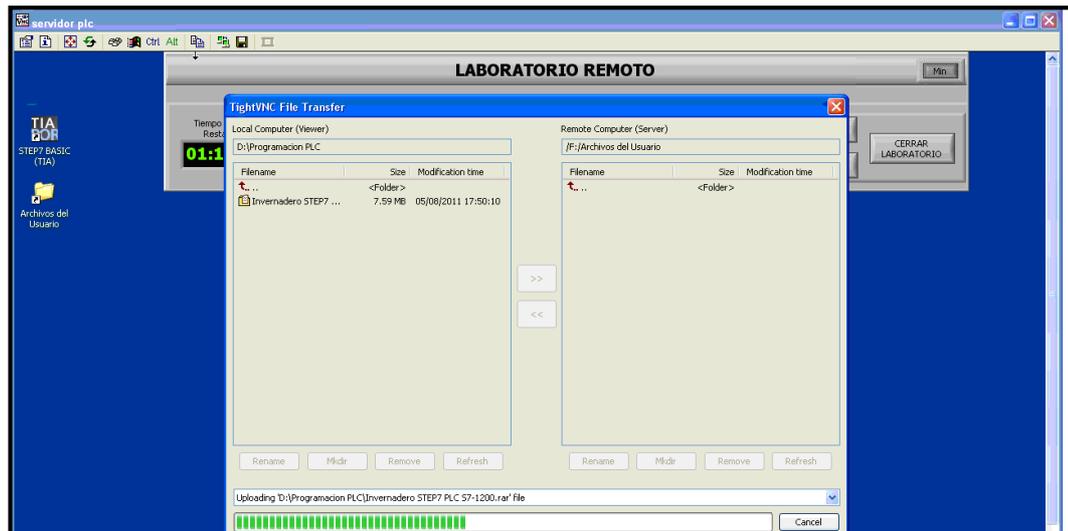
**Figura 5.30:** Interfaz inicial del TightVNC Viewer.

Una vez que se haya establecido la conexión remota, a través de escritorio remoto, se accede a la interfaz de acceso remoto al laboratorio, como se muestra en la siguiente figura 5.31.



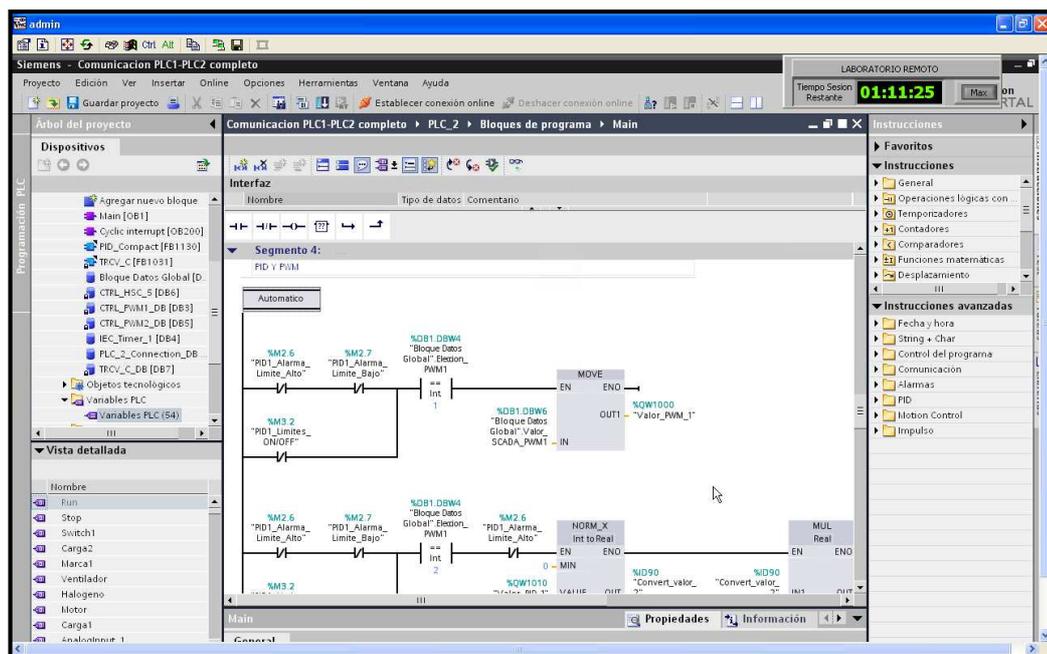
**Figura 5.31:** Interfaz de acceso remoto al laboratorio inicial, con la interfaz del laboratorio es su apariencia maximizada.

A través de las funciones adicionales que provee el TightVNC Viewer, se permite la transferencia de archivos (TFTP) entre el equipo Servidor PLC y el equipo del usuario, como se muestra en la figura 5.32. Se utiliza esta función para la transferencia de los archivos con el proyecto STEP7 que contiene la programación del PLC personalizado por el usuario (se recomienda juntarlos en un solo archivo comprimido .rar o .zip); estos archivos se alojan en la única carpeta accesible por el usuario en el servidor PLC, puesto que a las demás carpetas y discos se les bloquea su acceso por motivos de seguridad.



**Figura 5.32:** Opción de transferencia de archivos del TightVNCViewer en la Interfaz de Acceso Remoto al Laboratorio,

En este momento, el usuario puede utilizar todas las funciones que brinda el laboratorio para la realización de las prácticas de automatización. Puede programar los PLC, utilizar las funciones del STEP7 de monitoreo de datos y depuración de código, monitorear y controlar por medio de los SCADA, visualización en tiempo real de la maqueta, a través de la cámara IP, etc., para esto, se hace uso de la diferentes opciones que ofrece la Interfaz de Laboratorio; como se muestran en las imágenes 5.33, 5.34 y 5.35.



**Figura 5.33:** Programación de los PLC, utilizando la interfaz de acceso remoto y la interfaz del laboratorio minimizada.



Figura 5.34: Monitoreo y control del SCADA de una práctica junto con el visor de la cámara IP, utilizando la interfaz de acceso remoto.

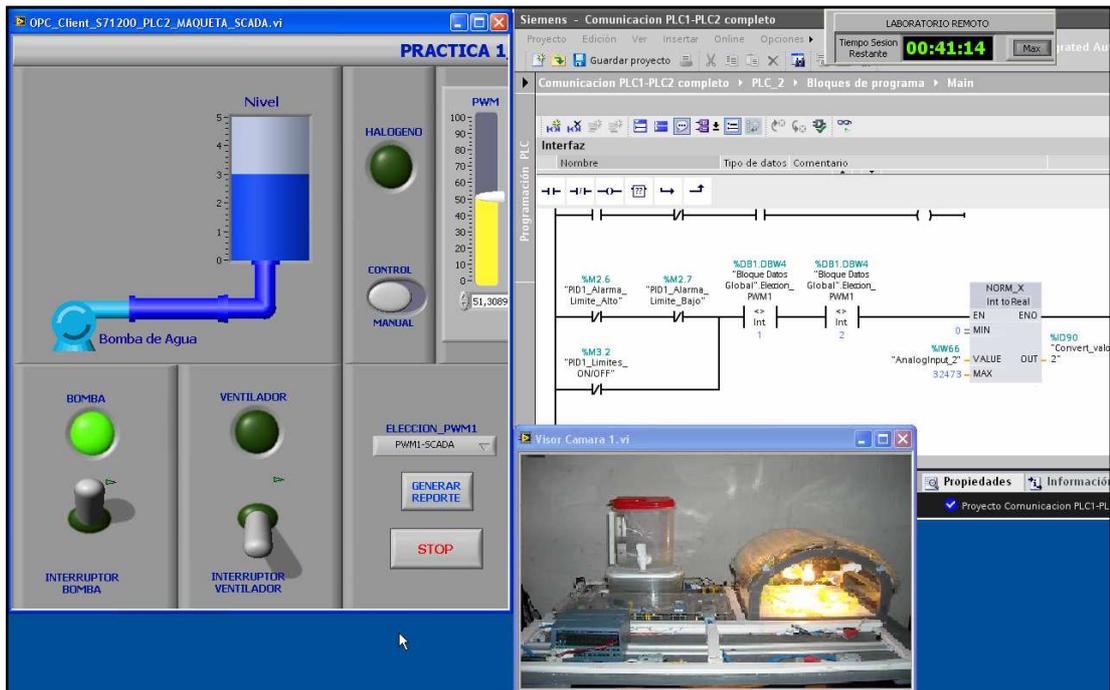
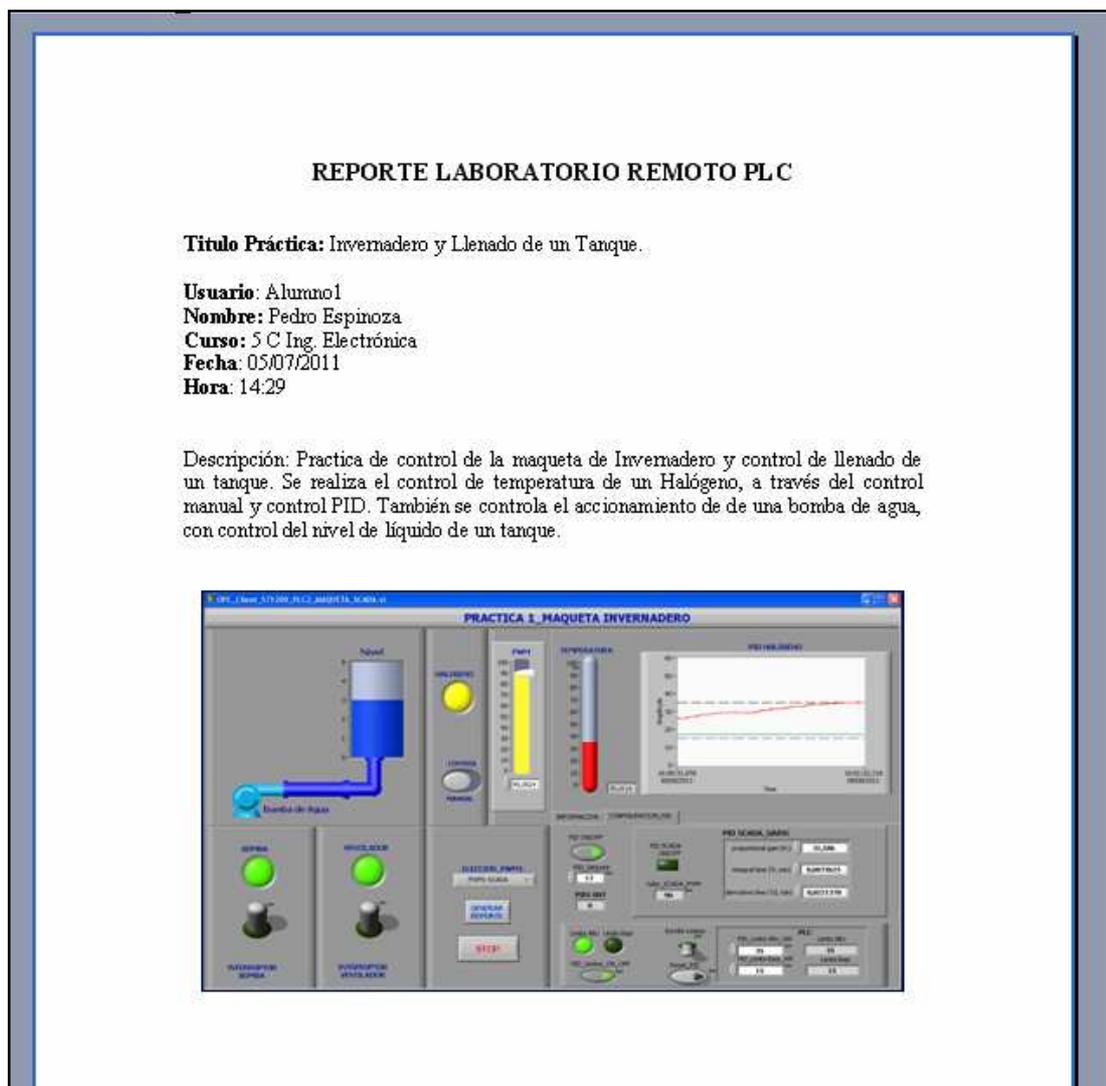


Figura 5.35: Uso de todas las funciones del laboratorio en conjunto acomodadas a la pantalla, utilizando la interfaz de acceso remoto.

Si el usuario es el administrador, puede desactivar el bloqueo ejercido por el software In\_Touch\_Lock v3.4. En este caso puede realizar configuraciones o cambios de emergencia en el laboratorio (mantenimiento), puede acceder a los archivos dentro

del equipo Servidor PLC, entre otros, todo de manera remota y no local al laboratorio.

Si el usuario ha completado satisfactoriamente la práctica realizada, puede utilizar la función adicional dentro del SCADA de “Generar Reporte”. Esta función genera automáticamente un reporte personalizado con la imagen del panel frontal del respectivo SCADA y los datos del usuario que estableció la sesión de uso. Estos reportes son generados para que el administrador pueda comprobar la realización de la práctica por el usuario, además, también le sirve al usuario para la presentación de un informe de la práctica. Por lo cual, estos reportes se almacenan tanto en la carpeta a la cual tiene acceso el usuario y en una carpeta especial con acceso exclusivo del administrador. Un ejemplo del reporte generado se muestra en la imagen 5.36.



**Figura 5.36:** Ejemplo del reporte generado de un SCADA.

### **5.2.7 Terminación de la sesión**

La terminación de la sesión de uso del laboratorio puede ocurrir por tres motivos:

- Expiró el tiempo de sesión establecido para esa reservación.
- Por elección del usuario al seleccionar manualmente la opción de “Cerrar Laboratorio” en la interfaz del laboratorio.
- Por elección del usuario al seleccionar manualmente la opción de “Cerrar Laboratorio” de la página web de acceso al laboratorio de la interfaz web.

Terminada la sesión, el software de control de laboratorio desactiva la conexión remota y realiza las operaciones necesarias para dejar disponible al sistema del laboratorio para la próxima sesión de uso del laboratorio remoto de automatización.

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### CONCLUSIONES

El diseño y sistema del laboratorio remoto, para realizar prácticas de automatización y control de procesos en la Universidad del Azuay, se desarrolló con aspectos técnicos que resaltan la actualidad e innovación del proyecto, por lo que genera ventajas significativas en el aprendizaje de los estudiantes.

Los equipos empleados son de última generación con tecnología de punta, por lo que garantiza la eficiencia en el funcionamiento del laboratorio remoto; incrementándose el número de prácticas a realizar y mejorando así la enseñanza, pues se genera el auto aprendizaje y la autoevaluación, y además se desarrolla la competencia educativa y laboral.

Por las características de diseño existe facilidad en el acceso de los usuarios empleando un computador conectado a Internet, mejorando indiscutiblemente la disponibilidad del laboratorio, equipos y maquetas, optimizando su empleo inclusive hasta de 24 horas los 365 días del año.

Sin duda facilita el uso compartido de equipos insuficientes o delicados, reduciendo los costos de inversión y mantenimiento, además de prolongar el período de vida útil de los mismos, viabilizando la modernización a corto plazo.

Debido a la versatilidad, escalabilidad y modularidad, con la cual fue diseñado el software utilizado en el laboratorio de control de acceso, control lógico y gestión administrativa, se obtiene un sistema completamente funcional y autónomo que garantiza el correcto desempeño del laboratorio. Sus principales características y ventajas se resumen a continuación:

- Sistema jerárquico de acceso al laboratorio: Alumno, Profesor, Administrador, cada uno con permisos y restricciones propias. Control de acceso a través de un sistema de reservaciones establecido.
- Funciones administrativas:
  - Registro de acceso al laboratorio.
  - Sistema completo de reservaciones: Nuevas Reservaciones, Cancelar Reservaciones, Historial de Reservaciones.
  - Adición/Modificación/Eliminación de usuarios, además permisos como tiempo máximo de sesión, número de reservaciones máximas, etc.
  - Cambios de datos personales: nombre de usuario, contraseña, clave VNC, etc.
- Funciones especiales:
  - Generación de reportes de cada práctica, para la calificación del alumno por parte del profesor.
  - Puesta en STOP automática de los PLCs tras finalizar la sesión, para evitar el funcionamiento innecesario de maquetas de las prácticas, y así proteger del sobrecalentamiento, desgaste, etc.
  - Maximización y minimización de la interfaz de usuario, así como el control de su transparencia.
- Adición/Modificación/Eliminación de VIs de SCADAS para las prácticas, así como de VIs de visores para las cámaras (Opción adicional), todo de manera transparente al administrador a través de simples cuadros de diálogo y opciones, excepto en la modificación del respectivo documento HTML de la página web, por motivos de personalización.
- Monitoreo continuo de la comunicación entre los módulos y un sistema de sincronización entre fases, como sistema de prevención de fallos; para evitar problemas de conexión y mal funcionamiento del laboratorio.

- Sistema de control y sincronismo de las funciones y operaciones necesarias para el funcionamiento del laboratorio entre sesiones como:
  - Activación/Desactivación conexión remota.
  - Control del tiempo de sesión, en base al reloj del sistema.
  - Puesta en STOP de los PLCs.
  - Limpieza de la carpeta con la programación del PLC.
- Seguridad implementadas en el laboratorio:
  - Sistema de autenticación para el acceso a la página web y uso del laboratorio, únicamente por usuarios registrados por el administrador del laboratorio.
  - Activación/Desactivación del servidor VNC según requerimiento, de esta manera no está siempre abierto, evitando accesos no autorizados.
  - Cambio dinámico de la clave de acceso del servidor VNC propio de cada usuario, esto evita accesos no autorizados al laboratorio, garantizando y respetando el correcto funcionamiento del sistema de reservaciones establecido.
  - Bloqueo de las funciones y opciones no necesarias para el uso del laboratorio en el equipo servidor PLC, evitando el uso indebido del equipo.
  - División en subredes de la topología de la red interna del laboratorio.
- Diseño del software de forma modular, con lo cual se puede expandir el funcionamiento y las prestaciones del laboratorio de manera relativamente independiente sin afectar a los otros sistemas, como la inclusión de nuevas prácticas SCADA, visores de cámaras, nuevas funciones administrativas en la página web, etc.

El utilizar LabVIEW 2009 como una sola plataforma de desarrollo para todo el software: sistema SCADA, aplicación web, software de control e interfaz de laboratorio, evita una gran complejidad y tiempo en la programación para realizar el monitoreo, control y comunicación entre los distintos módulos en los cuales se divide el software. Todo ello conlleva a crear una programación modular robusta, versátil y sobre todo escalable, obteniendo una aplicación bastante profesional y abierto a varias mejoras sin mayor cambio en su programación principal.

En conclusión final, se establece que el uso de este sistema de laboratorio remoto, como complemento al aprendizaje académico, está orientado a estudiantes con responsabilidad y criterio formado, que no busquen maneras destructivas o trampas, por así decirlo, para el mal funcionamiento del laboratorio. Vale la pena resaltar, puesto que, aunque el sistema cuenta con suficientes seguridades y métodos de prevención de errores en su funcionamiento, no está exento, como cualquier otro sistema de este tipo, a posibles futuros ataques o maneras de burlar el sistema de evaluaciones o desempeño que tergiversen el propósito del laboratorio remoto.

## **RECOMENDACIONES**

A pesar de que el objetivo de esta tesis es utilizar el PLC S7-1200 con su correspondiente software de programación (TIA) y su correspondiente servidor OPC (PC-ACCESS), ambos de Siemens; se puede utilizar otro tipo y/o marca de PLC, con un distinto software de programación y servidor OPC, ya que el software de control del laboratorio funciona de manera independiente al software y tipo de PLC utilizado. El único sistema afectado ligeramente sería el Módulo SCADA, puesto que LabVIEW funciona como cliente OPC. Los únicos cambios que se tendrían que realizar, fuera de las configuraciones que se realizarían en el nuevo servidor OPC, son en el servidor I/O de LabVIEW, donde se seleccionaría el nuevo servidor OPC con el cual se va a comunicar. Cabe mencionar, que las librerías con las variables compartidas utilizadas para la comunicación con el PLC se deben actualizar puesto que se cambio de servidor OPC.

Gracias a la manera en cómo está diseñado el laboratorio, se pueden modificar o añadir funciones extras del laboratorio, solo con ligeros cambios (dependiendo de la complejidad) en el software de control. Aunque estas funciones extras están fuera de los objetivos principales de la tesis, se pueden mencionar algunas como mención de posibles mejoras al software del laboratorio:

- El uso de la misma plataforma de control de laboratorio, pero orientado a otros dispositivos de control en remplazo de los PLCs, como Microcontroladores, placas de robótica especializadas, etc., expande de gran manera las prácticas académicas que se pueden incluir, otorgando más posibilidades y valor al uso del sistema de laboratorio remoto como método complementario en la educación académica del estudiante.
- Se puede incluir la posibilidad de brindar a los usuarios, la capacidad de desarrollar y probar sus propios SCADA para las respectivas prácticas; esto como complemento a las características del uso académico del laboratorio. Para ello, se crearía un acceso directo a LabVIEW, para que los usuarios puedan desarrollar y elaborar sus SCADA personalizados. Se sugiere también, crear un sistema ordenado y general de las variables de comunicación con el PLC en el servidor OPC, para que no se otorgue acceso a los usuarios a la configuración de este servidor. Sin embargo; al permitir a los usuarios el uso de LabVIEW, se les otorga también el acceso a herramientas implícitas de este sistema como por ejemplo la de “Distributed System Manager”; por medio de la cual, se puede detener la ejecución del servicio que controla las variables compartidas utilizadas para todos sistemas SCADA desarrollados en el equipo. Estos, entre otros aspectos, deberán ser considerados para la implementación de esta capacidad adicional para el laboratorio remoto.
- Se puede visualizar las prácticas SCADA directamente a través de una interfaz web y no por medio del escritorio remoto. Para esto, se realiza ligeros cambios en el software de control y se utiliza la herramienta “Front Panel-Web Publishing Tool” de LabVIEW. Esto sería útil en prácticas donde se decidiese trabajar únicamente con SCADAS y con la programación del dispositivo de control final (PLC).
- Aunque en esta tesis, se trabaja con LabVIEW como plataforma de desarrollo del sistema SCADA, por diferentes motivos se puede necesitar usar otro tipo de plataformas como WinCC de Siemens por ejemplo. Para lo cual, se pueden realizar ligeros cambios en el software de control del laboratorio para permitir la ejecución de estos sistemas SCADA desarrollados en una plataforma distinta a la de

LabVIEW, siempre y cuando sean creados como ejecutables o dispongan de controles ActiveX adecuados para su control por parte del software de control. Resaltando la posible pérdida de funciones como la generación de reportes, o la puesta en STOP automática de los PLCs tras finalizar la sesión, esto, si en el nuevo software de desarrollo del sistema SCADA no se ofrecen estas posibilidades.

- Ya que el software de programación utilizado en el Módulo de Aplicación Web, está en su totalidad desarrollado en LabVIEW 2009, y basándose en la modularidad y escalabilidad con que se diseñó el software; se puede optar por otra plataforma de diseño y programación para este módulo en vez de LabVIEW. Es decir, se puede utilizar otro tipo de servidor web, junto con la utilización de otros lenguajes de programación para el desarrollo de los scripts, necesarios para el control de acceso y gestión administrativa y su interacción con la interfaz web, como por ejemplo PHP, ASP, javascripts, etc., siempre y cuando realicen las mismas funciones y brinden los mismos servicios originalmente establecidos. Pero, para ello, es necesario el desarrollo de una aplicación que le vincule y comunique con el software de control (ML1 y ML2) para el correcto funcionamiento del laboratorio.

Todo esto con el objetivo de brindar futuras mejoras y adiciones administrativas al funcionamiento del laboratorio, realizadas por estudiantes o profesionales de la carrera de Ingeniería en Sistemas propios de la universidad. Con lo cual, se brinda la oportunidad de integración para la realización de nuevos proyectos o posibles tesis futuras, según la complejidad del caso.

## BIBLIOGRAFÍA

### REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] BITTER, Rick, MOHIUDDIN Taqi, NOWROCKI Matt. *LabVIEW Advanced Programming Techniques*. Second Edición.
- [2] NATIONAL INSTRUMENTS. *LabVIEW Advanced Course Manual*. Mayo/2001.
- [3] SIEMENS AG. *Manual de sistema, controlador programable S7-1200*. Alemania. 11/2009. A5E02486683-0.
- [4] SIEMENS AG. *Getting Started, Simatic TIA Portal STEP 7 Basic V10.5*. Alemania. 12/2009. A5E02714428-01
- [5] SIEMENS AG. *SIMATIC S7-1200, Getting Started of S7-1200*. Alemania. 11/2009. A5E02486794-01
- [6] SIEMENS AG. *SIMATIC S7-1200 Easy Book*. Alemania 11/2009. A5E02486778-01

### REFERENCIAS ELECTRÓNICAS

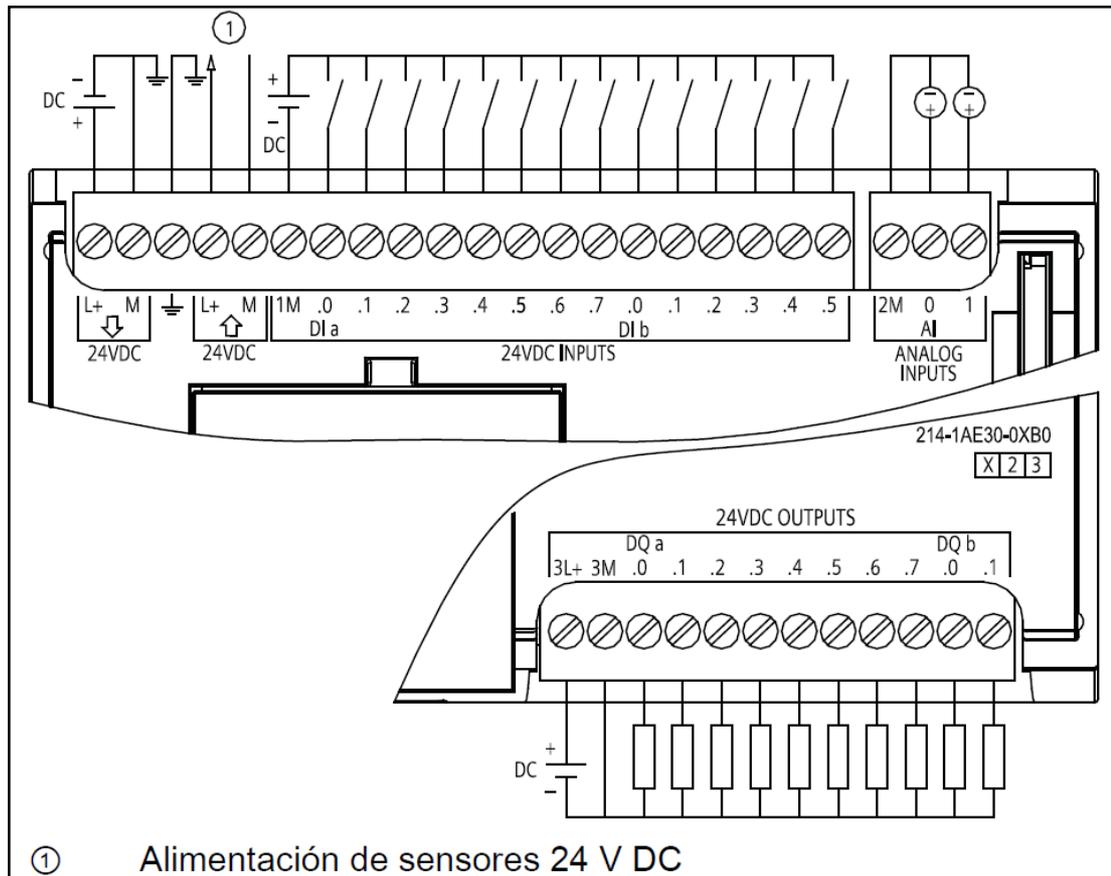
- [7] SIEMENS. *Product Support. ¿Cómo se puede acceder a un PLC S7-1200 mediante un PC Access y qué se ha de tener en cuenta?* 2011.  
<http://support.automation.siemens.com/WW/llisapi.dll?func=cslib.csinfo&objId=26435986&load=treecontent&lang=es&siteid=cseus&aktprim=0&objaction=csview&extranet=standard&viewreg=WW>

- [8] NATIONAL INSTRUMENTS. *NI Developer Zone. Best Practices for Managing NI LabVIEW Applications Using the Project Explorer.* 2011. <http://zone.ni.com/devzone/cda/tut/p/id/7197>
  
- [9] NATIONAL INSTRUMENTS. *NI Developer Zone. Buffered Network-Published Shared Variables: Components and Architecture.* 2011. <http://zone.ni.com/devzone/cda/tut/p/id/12176>
  
- [10] NATIONAL INSTRUMENTS. *NI Developer Zone. Conecte LabVIEW a Cualquier PLC.* 2011. <http://zone.ni.com/devzone/cda/tut/p/id/7906>
  
- [11] NATIONAL INSTRUMENTS. *NI Developer Zone. Conecte LabVIEW a cualquier PLC Utilizando OPC.* [Material gráfico proyectable]. 2011. <http://zone.ni.com/wv/app/doc/p/id/wv-475>
  
- [12] NATIONAL INSTRUMENTS. *NI Developer Zone. Controlling Two Executables with the VI Server (Programa de ejemplo).* 2011. <http://zone.ni.com/devzone/cda/epd/p/id/1366>
  
- [13] NATIONAL INSTRUMENTS. *NI Developer Zone. LabVIEW Datalogging and Supervisory Control (DSC) Module Training.* 2011. <http://zone.ni.com/devzone/cda/tut/p/id/10000>
  
- [14] NATIONAL INSTRUMENTS. *NI Developer Zone. LabVIEW 2009 Shared Variable Examples.* 2011. <https://decibel.ni.com/content/docs/DOC-7804>
  
- [15] NATIONAL INSTRUMENTS. *NI Developer Zone. LabVIEW Virtual User Group: Build Plug-In Architectures and Custom User Interfaces with VI Server* [Material gráfico proyectable]. 2011. <http://zone.ni.com/wv/app/doc/p/id/wv-907>
  
- [16] NATIONAL INSTRUMENTS. *NI Developer Zone. LabVIEW Web Services* [Material gráfico proyectable]. 2011. <http://zone.ni.com/wv/app/doc/p/id/wv-810>

- [17] NATIONAL INSTRUMENTS. *NI Developer Zone. Serving Up Powerful Solutions: LabVIEW VI Server Examples.* 2011. <http://zone.ni.com/devzone/cda/tut/p/id/4062>
- [18] NATIONAL INSTRUMENTS. *NI Developer Zone. Tutorial: Building and Accessing a LabVIEW Web Service Application (Windows, ETS, VxWorks).* 2011. [http://zone.ni.com/reference/en-X/help/371361G1/lvho-wto/build\\_-web\\_service/](http://zone.ni.com/reference/en-X/help/371361G1/lvho-wto/build_-web_service/)
- [19] NATIONAL INSTRUMENTS. *NI Developer Zone. Using the LabVIEW Shared Variable.* 2011. <http://zone.ni.com/devzone/cda/tut/p/id/4679>
- [20] NATIONAL INSTRUMENTS. *NI Developer Zone. Web Services in LabVIEW.* 2011. <http://zone.ni.com/devzone/cda/tut/p/id/7350>
- [21] NATIONAL INSTRUMENTS. *NI Support. How Do I Configure and Use the VI Server?.* 2011. <http://digital.ni.com/public.nsf/allkb/F4010DD5C8D-1B13D862565BC007384>
- [22] NATIONAL INSTRUMENTS. *NI Support. Managing a Project in LabVIEW.* 2011. [http://zone.ni.com/reference/enX/help/lvconcepts/using\\_-labview\\_projects/](http://zone.ni.com/reference/enX/help/lvconcepts/using_-labview_projects/)
- [23] NATIONAL INSTRUMENTS. *NI Support. ¿Qué Puertos Necesito Abrir en mi Firewall para que Funcione el Software de National Instruments?.* 2011. <http://digital.ni.com/public.nsf/allkb/A0740730BBA6A65E8625732B0054CD4D>
- [24] NATIONAL INSTRUMENTS. *NI Support. Using Libraries in LabVIEW Projects.* 2011. [http://zone.ni.com/reference/en-XX/help/371361F-01/lvconcepts/project\\_libraries/](http://zone.ni.com/reference/en-XX/help/371361F-01/lvconcepts/project_libraries/)

## ANEXOS

### ANEXO 1: Diagrama de cableado del PLC S7-1200

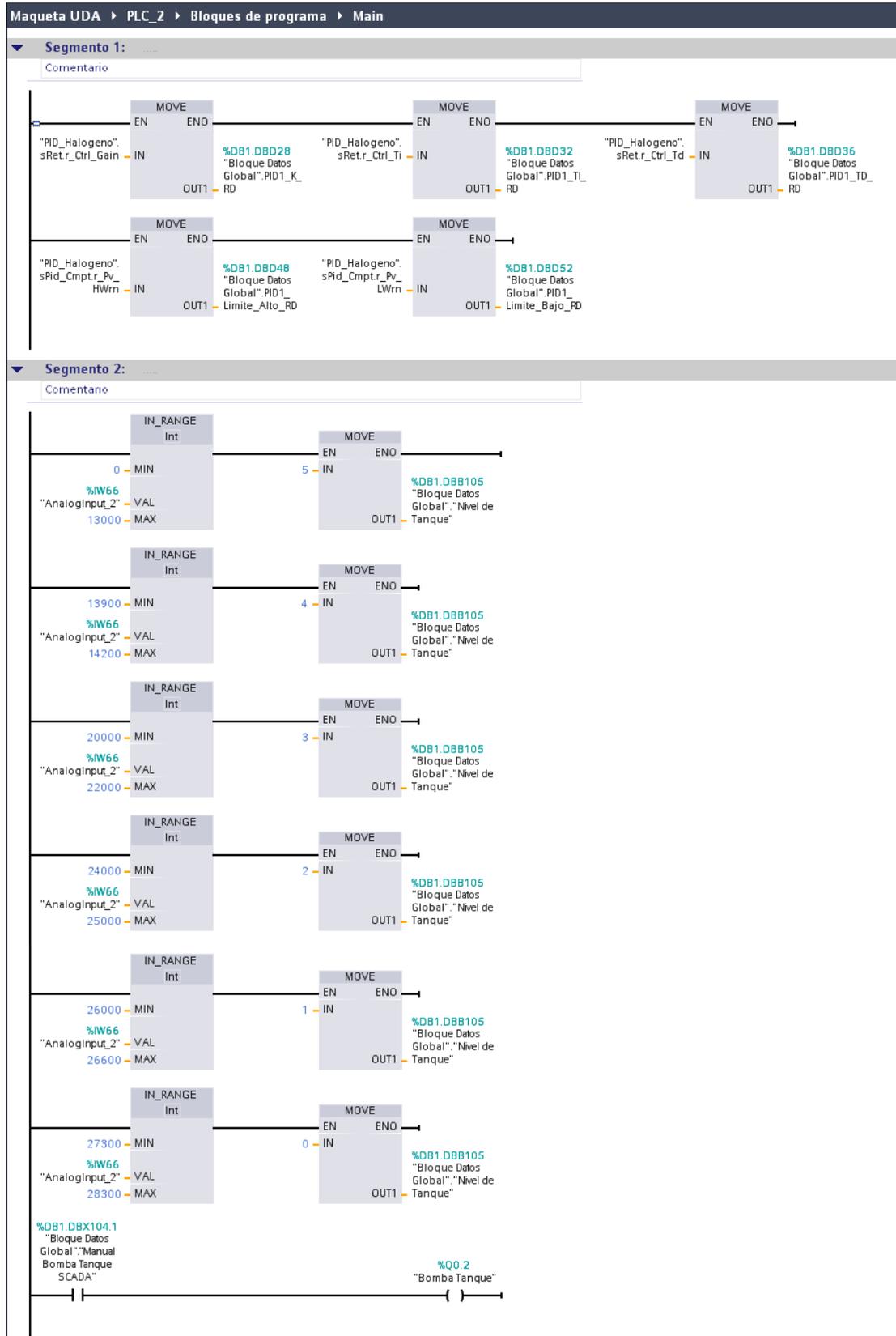


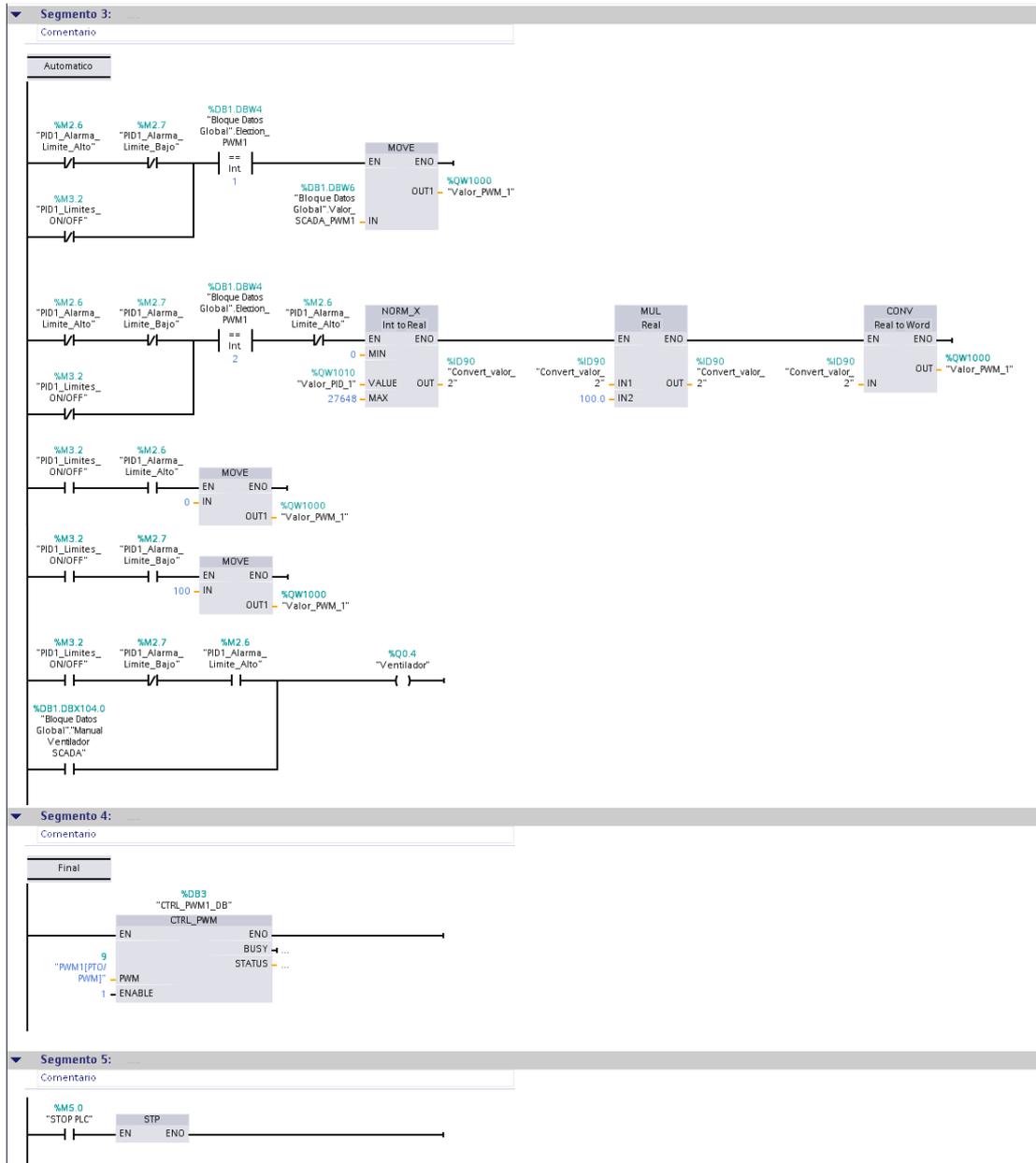
**Figura A1.1:** Representación del diagrama de cableado del PLC S7-1200 de Siemens, CPU 1214C DC/DC/DC (6ES7 214-1AE30-0XB0).

**Fuente:** Siemens AG, Manual de sistema, controlador programable S7-1200, Alemania 11/2009, A5E02486683-0.

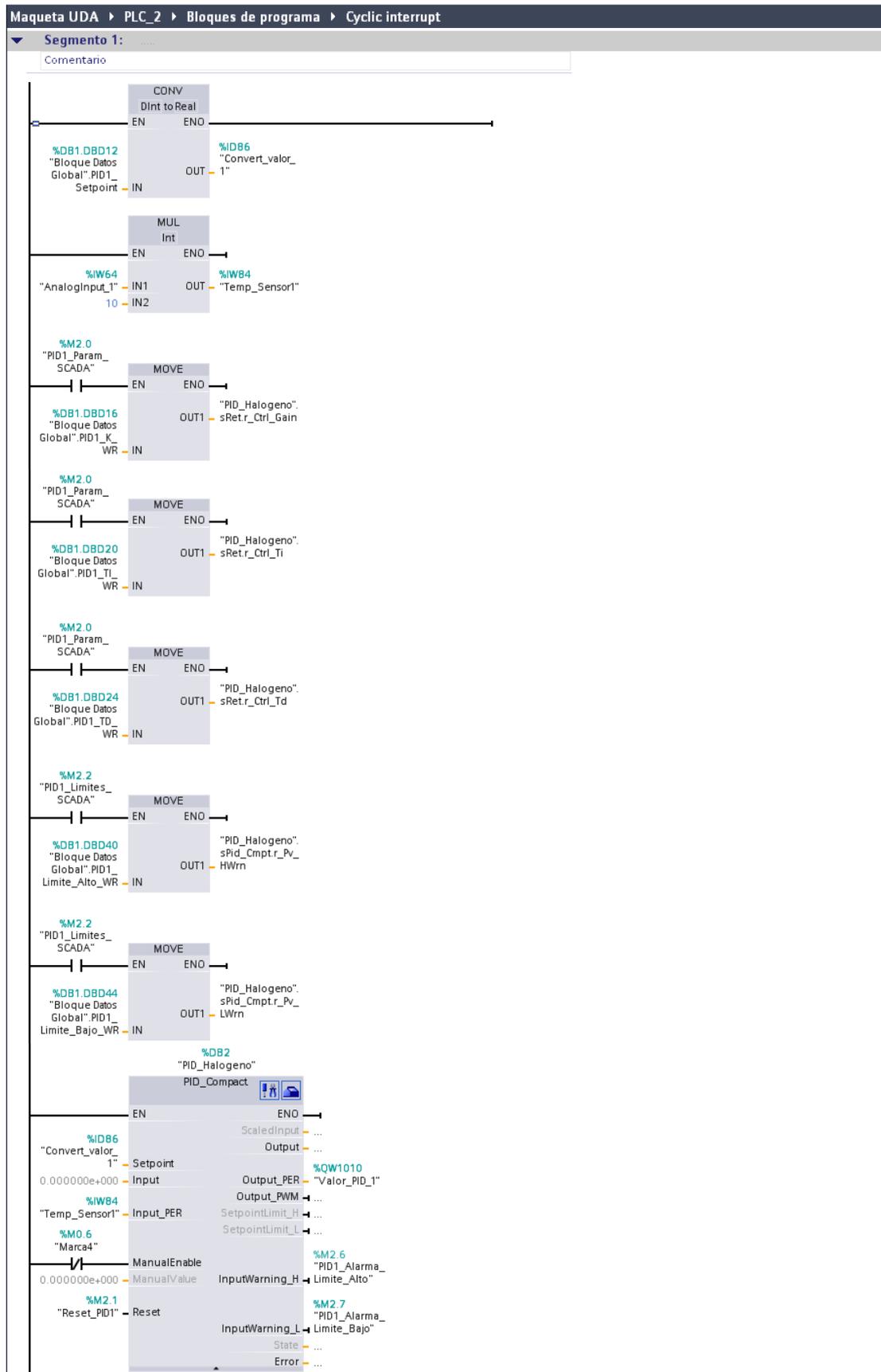
## ANEXO 2: Código de programación del PLC S7-1200, para monitoreo y control de temperatura de un invernadero y llenado de un tanque de agua

### A.2.1 Bloque de programa: MAIN (OB1)

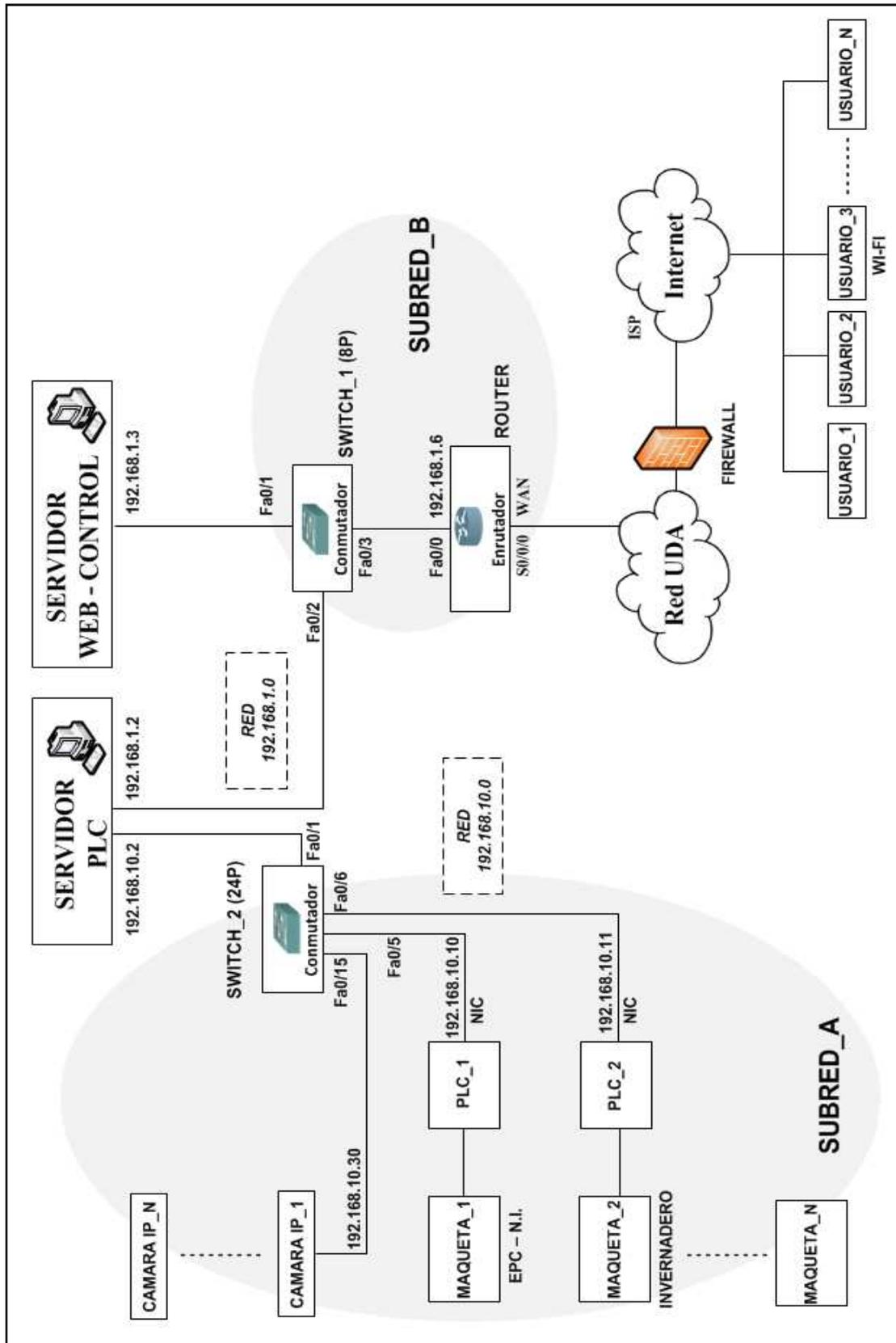




### A.2.2 Bloque de programa: CYCLIC INTERRUPT (OB200)



**ANEXO 3: Diagrama de topología de la red del laboratorio remoto**



**Figura A3.1:** Topología de red de comunicación del laboratorio remoto, con especificación de las aplicaciones de los equipos servidores.

#### ANEXO 4: Tabla de direccionamiento IP, y tablas de asignación de puertos de los conmutadores

NOMBRE RED	DISPOSITIVO NOMBRE DE HOST	INTERFACE	DIRECCIÓN IP	MÁSCARA DE SUBRED	GATEWAY POR DEFECTO
LAN_PLC	SERVIDOR_PLC	NIC	192.168.10.2	255.255.255.0	-
	PLC1	NIC	192.168.10.10	255.255.255.0	-
	PLC2	NIC	192.168.10.11	255.255.255.0	-
	CAMARA_IP	NIC	192.168.10.30	255.255.255.0	-
LAN_CONTROL	SERVIDOR_PLC	NIC	192.168.1.2	255.255.255.0	192.168.1.1
	SERVIDOR_WEB	NIC	192.168.1.3	255.255.255.0	192.168.1.1
WAN_LAB	ROUTER1	S0/0/0	10.10.10.1	255.255.255.252	-
		Fa0/0	192.168.1.10	255.255.255.0	-
	ROUTER2	S0/0/0	10.10.10.2	255.255.255.252	-
		Fa0/0	192.168.20.10	255.255.255.0	-
LAN_CLIENTE	CLIENTE1	NIC	192.168.20.2	255.255.255.0	192.168.20.1
	CLIENTE2	NIC	192.168.20.3	255.255.255.0	192.168.20.1
WLAN_CLIENTE	CLIENTE3	NIC	192.168.20.4	255.255.255.0	192.168.20.1
	CLIENTE4	NIC	192.168.20.5	255.255.255.0	192.168.20.1

#### Conmutador\_1 (Switch\_1) – 8 Puertos Fast Ethernet

PUERTOS	ASIGNACIÓN	RED
Fa0/1 – 0/8	Enlaces troncales 802.1q (VLAN NATIVA)	192.168.1.0

#### Conmutador\_2 (Switch\_2) – 24 Puertos Fast Ethernet

PUERTOS	ASIGNACIÓN	RED
Fa0/1 – 0/8	Enlaces troncales 802.1q (VLAN NATIVA)	192.168.10.0
Fa0/5 – 0/14	PLCs S7-1200	192.168.10.0
Fa0/15 – 0/24	Cámaras IP	192.168.10.0

## **ANEXO 5: Lista de hardware y software recomendado para la instalación y configuración del laboratorio remoto**

### **A.5.1 Hardware:**

- Switch CISCO Catalyst 2960 – 24 puertos (PLCs y cámaras IP)
- Switch CISCO Catalyst 2960 – 16 puertos (PCs locales)
- Switch CISCO Catalyst 2960 – 8 puertos (PCs servidores y conexión remota)
- Router CISCO 2811
- Cable UTP categoría 5 con apantallamiento
- PC Equipo servidor PLC:
  - Procesador Intel® Core™ i7 de 2,8 Ghz
  - 4 Gb. de Memoria RAM
  - 2 tarjetas de red
- PC Equipo servidor Web y Control:
  - Procesador Intel® Core™ i7 de 2,8 Ghz
  - 4 Gb. de Memoria RAM
  - 1 tarjetas de red
- PCs locales:
  - Mínimo Procesador Intel® Core™ i3 de 2,2 Ghz
  - Mínimo 2 Gb de RAM
  - 1 tarjeta de red
- PLC Simatic S7-1200 CPU 1214C DC/DC/DC (*Paquete de entrenamiento*)

### **A.5.2 Software:**

- PC ACCESS (OPC S7-200)
- STEP 7 BASIC (*Paquete de entrenamiento*)
- LABVIEW 2009 ENVIROMENT
- TightVNC Server
- TightVNC Viewer
- In\_Touch\_Lock
- Software de cámara IP