



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE MECÁNICA ESCUELA DE INGENIERÍA DE MANTENIMIENTO

“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA SCADA CON COMUNICACIÓN PROFIBUS PARA EL CONTROL Y MONITOREO DE PROCESOS INDUSTRIALES EN EL LABORATORIO DE AUTOMATIZACIÓN DE LA FACULTAD DE MECÁNICA”

**ALBÁN GUERRERO JOSÉ EDUARDO
PAGUAY LLAMUCA NÉSTOR JHOVANY**

TRABAJO DE TITULACIÓN

Previa a la obtención del Título de:

INGENIERO DE MANTENIMIENTO

**RIOBAMBA – ECUADOR
2017**

APROBACIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

2016-05-17

Yo recomiendo que el Trabajo de Titulación preparado por:

ALBÁN GUERRERO JOSÉ EDUARDO
PAGUAY LLAMUCA NÉSTOR JHOVANY

Titulado:

“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA SCADA CON
COMUNICACIÓN PROFIBUS PARA EL CONTROL Y MONITOREO DE
PROCESOS INDUSTRIALES EN EL LABORATORIO DE AUTOMATIZACIÓN
DE LA FACULTAD DE MECÁNICA”

Sea aceptado como parcial complementación de los requerimientos para el Título de:

INGENIERO DE MANTENIMIENTO

Ing. Carlos Santillán Mariño
DECANO DE LA FAC. DE MECÁNICA

Nosotros coincidimos con esta recomendación:

Ing. Marco Santillán
DIRECTOR

Ing. Pablo Montalvo
ASESOR

ESPOCH

EXAMINACIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

NOMBRE DEL ESTUDIANTE: ALBÁN GUERRERO JOSÉ EDUARDO

TRABAJO DE TITULACIÓN: **“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA SCADA CON COMUNICACIÓN PROFIBUS PARA EL CONTROL Y MONITOREO DE PROCESOS INDUSTRIALES EN EL LABORATORIO DE AUTOMATIZACIÓN DE LA FACULTAD DE MECÁNICA”**

Fecha de Examinación: 2017-01-20

RESULTADO DE LA EXAMINACIÓN:

COMITÉ DE EXAMINACIÓN	APRUEBA	NO APRUEBA	FIRMA
Dr. Marco Haro PRESIDENTE TRIB.DEFENSA			
Ing. Marco Santillán DIRECTOR			
Ing. Pablo Montalvo ASESOR			

* Más que un voto de no aprobación es razón suficiente para la falla total.

RECOMENDACIONES: _____

El Presidente del Tribunal certifica que las condiciones de la defensa se han cumplido.

Dr. Marco Haro
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

ESPOCH

Facultad de Mecánica

EXAMINACIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

NOMBRE DEL ESTUDIANTE: PAGUAY LLAMUCA NÉSTOR JHOVANY

TRABAJO DE TITULACIÓN: “DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA SCADA CON COMUNICACIÓN PROFIBUS PARA EL CONTROL Y MONITOREO DE PROCESOS INDUSTRIALES EN EL LABORATORIO DE AUTOMATIZACIÓN DE LA FACULTAD DE MECÁNICA”

Fecha de Examinación: 2017-01-20

RESULTADO DE LA EXAMINACIÓN:

COMITÉ DE EXAMINACIÓN	APRUEBA	NO APRUEBA	FIRMA
Dr. Marco Haro PRESIDENTE TRIB.DEFENSA			
Ing. Marco Santillán DIRECTOR			
Ing. Pablo Montalvo ASESOR			

* Más que un voto de no aprobación es razón suficiente para la falla total.

RECOMENDACIONES: _____

El Presidente del Tribunal certifica que las condiciones de la defensa se han cumplido.

Dr. Marco Haro
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

DERECHOS DE AUTORÍA

El Trabajo de Titulación que presentamos, es original y basado en el proceso de investigación y/o adaptación tecnológica establecido en la Facultad de Mecánica de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. En tal virtud, los fundamentos teóricos-científicos y los resultados son de exclusiva responsabilidad de los Albán, Eduardo y Paguay, Néstor. El patrimonio intelectual le pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Albán Guerrero José Eduardo

Paguay Llamuca Néstor Jhovany

DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD

Nosotros, José Eduardo Albán Guerrero y Néstor Jhovany Paguay Llamuca, declaramos que el presente trabajo de titulación es de nuestra autoría y que los resultados del mismo son auténticos y originales. Los textos constantes en el documento que provienen de otra fuente están debidamente citados y referenciados.

Como Albán, Eduardo y Paguay, Néstor, asumimos la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de titulación.

Albán Guerrero José Eduardo
Cedula de identidad:060410483-6

Paguay Llamuca Néstor Jhovany
Cedula de identidad: 060410

DEDICATORIA

A mis padres: Edictor Albán Mora y María Melva Guerrero, por su apoyo incondicional a lo largo de mi carrera profesional, ya que son un pilar fundamental en mi vida. A mis hermanos que de una u otra manera siempre me apoyaron para lograr este éxito.

A mis amigos, compañeros y docentes que durante este tiempo me acompañaron y ayudaron cuando lo necesite ya sea en el ámbito estudiantil como en lo personal.

José Eduardo Albán Guerrero.

A mis padres y hermanos, por su apoyo incondicional durante el trayecto de la carrera de Ingeniería de Mantenimiento.

A Dios, por proporcionarme el carácter para continuar durante toda ésta travesía, sin tomar el camino fácil.

Néstor Jhovany Paguay Llamuca.

AGRADECIMIENTO

Primero doy gracias a Dios por darme la vida y la fuerza para conseguir todo lo que anhelado y por la sabiduría en estos años para poder terminar mi carrera.

El más sincero y profundo agradecimiento a mis padres por su apoyo, fuerza y consejos que siempre me motivaron para seguir adelante y nunca dejaron que me rindiera. A mis hermanos por siempre estar juntos apoyándome.

A los docentes de la Escuela de Ingeniería de Mantenimiento que formaron parte de mi desarrollo y crecimiento como profesional con sus conocimientos y consejos impartidos a lo largo de la carrera.

José Eduardo Albán Guerrero.

A Dios, por la sabiduría para tomar decisiones.

A mis padres, hermanos, maestros y amigos, que me enseñaron la responsabilidad y el valor de estudiar.

Néstor Jhovany Paguay Llamuca.

CONTENIDO

Pág.

1.	INTRODUCCIÓN	
1.1	Antecedentes.....	1
1.2	Justificación.....	2
1.3	Objetivos.....	2
1.3.1	<i>Objetivo general..</i>	2
1.3.2	<i>Objetivos específicos</i>	2
2.	MARCO TEÓRICO	
2.1	Comunicaciones industriales.....	4
2.2	Redes industriales	5
2.2.1	<i>Clasificación de las redes de comunicación industrial.</i>	5
2.2.1.1	<i>Red de factoría</i>	6
2.2.1.2	<i>Red de planta.</i>	6
2.2.1.3	<i>Red de célula.</i>	6
2.2.1.4	<i>Red de campo.</i>	6
2.2.2	<i>Topologías de red.</i>	6
2.2.2.1	<i>Interconexión total y parcial.</i>	7
2.2.2.2	<i>Interconexión en estrella.</i>	7
2.2.2.3	<i>Interconexión en bus.</i>	8
2.2.2.4	<i>Interconexión en anillo</i>	8
2.2.2.5	<i>Interconexión en árbol.</i>	8
2.2.3	<i>Elementos de enlace entre topologías.</i>	8
2.2.3.1	<i>Repetidor.</i>	8
2.2.3.2	<i>Puentes (bridge).</i>	9
2.2.3.3	<i>Encaminador (router).</i>	9
2.2.3.4	<i>Pasarela (gateway).</i>	9
2.2.4	<i>Protocolos de comunicación.</i>	9
2.3	Bus de campo.....	9
2.3.1	<i>Ventajas de los buses de campo.</i>	9
2.4	PROFIBUS	11
2.4.1	<i>Características generales.</i>	11

2.4.2	<i>Profibus DP.</i>	12
2.4.3	<i>Características generales</i>	12
2.4.4	<i>Configuración del sistema.</i>	13
2.4.4.1	<i>DP maestro clase 1 (DPM1).</i>	13
2.4.4.2	<i>DP maestro clase 2 (DPM).</i>	13
2.4.4.3	<i>Esclavos.</i>	13
2.5	<i>SCADA.</i>	14
2.5.1	<i>Funciones.</i>	15
2.5.2	<i>Requisitos.</i>	16
2.5.3	<i>Componentes de hardware.</i>	16
2.5.3.1	<i>Master Terminal Unit, MTU.</i>	16
2.5.3.2	<i>Remote Terminal Unit, RTU.</i>	17
2.5.3.3	<i>Red de comunicación.</i>	17
2.5.3.4	<i>Instrumentos de campo.</i>	17

3. HARDWARE, SOFTWARE Y MÓDULO UTILIZADO

3.1	Controlador programable S7-1200	18
3.1.1	<i>Generalidades.</i>	18
3.1.2	<i>Capacidad de expansión.</i>	19
3.1.3	<i>Ejecución del programa de usuario.</i>	20
3.1.3.1	<i>Bloques lógicos soportados por la CPU.</i>	20
3.1.4	<i>Tipos de datos soportados</i>	20
3.1.5	<i>Lenguaje de programación.</i>	21
3.2	SIMATIC HMI KTP600 Basic color DP	21
3.2.1	<i>Generalidades.</i>	21
3.3	Maestro Profibus CM 12435	23
3.3.1	<i>Generalidades.</i>	23
3.3.2	<i>Posibles esclavos DP-V0/V1 para el maestro DP CM 1243-5.</i>	23
3.4	Esclavo Profibus CM 1242-5	24
3.4.1	<i>Generalidades.</i>	24
3.4.2	<i>Posibles maestros DP para el esclavo DP CM 1242-5.</i>	25
3.5	Conector de bus Profibus Fast Connect	25
3.5.1	<i>Montaje del cable Profibus en el conector.:</i>	25
3.6	STEP 7- TIA PORTAL V13	26
3.7	LabVIEW 2015	27

3.7.1	<i>NI-OPC.</i>	27
3.7.2	<i>DSC.</i>	28
3.8	Selección y rediseño del módulo	28
3.8.1	<i>Características para la selección del módulo.</i>	28
3.8.2	<i>Selección del módulo.</i>	28
3.8.3	<i>Implementación de la HMI en el tablero de redes industriales.</i>	34
3.8.3.1	<i>Configuración de la HMI (Esclavo 2).</i>	35
4.	PROGRAMACIÓN Y DISEÑO DEL SISTEMA SCADA	
4.1	Configuración red Profibus con STEP 7 TIA PORTAL V13.	37
4.1.1	<i>Creación del proyecto y selección de dispositivos.</i>	37
4.1.2	<i>Asignación de direcciones y creación de subredes.</i>	38
4.1.3	<i>Compilar y cargar dispositivos.</i>	39
4.2	Programación y transferencia de datos entre MAESTRO_DP y ESCLAVO_1_PLC.	40
4.2.1	<i>Programación del mando general, M18 y PT100 en el MAESTRO_DP.</i>	41
4.2.2	<i>Programación del SINAMICS G110 en el ESCLAVO_1_PLC.</i>	41
4.2.3	<i>Transferencia de datos.</i>	41
4.2.3.1	<i>Transferencia de datos del mando general y sensor inductivo M→E.</i>	42
4.2.3.2	<i>Transferencia de datos de la PT100.</i>	43
4.2.3.3	<i>Transferencia de datos del SINAMICS G110.</i>	45
4.3	Configuración y programación de la HMI_del_1Slave.	48
4.4	SCADA	49
4.4.1	<i>Diseño del sistema SCADA en el ESCLAVO_2_HMI.</i>	49
4.4.2	<i>Conexión entre LabVIEW y PLC utilizando NI-OPC</i>	54
4.4.2.1	<i>Creación del NI OPC Server.</i>	54
4.4.2.2	<i>Creación de memorias de interfaz para comunicación entre LabVIEW y PLC...</i>	55
4.4.2.3	<i>Creación y diseño de controles en DSC.</i>	57
4.4.3	<i>Diseño del sistema SCADA en LabVIEW.</i>	58
4.4.3.1	<i>Programación en Block Diagram del VI.</i>	59
4.4.3.2	<i>Programación en el Front Panel del VI.</i>	61
5.	PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA SCADA	
5.1	Prueba del SCADA con comunicación Profibus en la HMI implementada.	64
5.2	Prueba de comunicación del SCADA en LabVIEW con la HMI.	66

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 Conclusiones..... 68
6.2 Recomendaciones. 69

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

LISTA DE TABLAS

	Pág.
1. Tipos de datos soportados por el S7-1200	20
2. Análisis de módulos	29
3. Descripción de equipos añadidos.....	38
4. Áreas de transferencia del variador	45
5. Bornes del SINAMIGS G110	52
6. Ejemplo de modificación de parámetros del BOP.....	53

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
1. Diagrama de comunicaciones industriales.....	4
2. Pirámide CIM de comunicación	6
3. Topologías de red.....	7
4. Ejemplo de interconexión en bus.....	8
5. Actuadores y sensores en una red industrial.....	10
6. Comunicación Industrial Profibus	11
7. Configuración Mono - Maestro	14
8. Esquema Básico de un SCADA.....	15
9. Controlador programable SIMATIC S7-1200.....	19
10. SIMATIC HMI KTP600 Basic color DP	22
11. Maestro Profibus CM 1243-5	23
12. Esclavo Profibus CM 1242-5.....	24
13. Conector de bus Profibus	25
14. Montaje del cable del bus	26
15. Laboratorio de Automatización	33
16. Tablero de redes industriales	33
17. Dimensiones de la pantalla	34
18. KTP 600DP instalada en el tablero.....	35
19. Mensaje de conflicto antes de configurar la HMI.....	35
20. Configuración de la velocidad de transmisión de la HMI	35
21. Configuración de la dirección de la HMI	36
22. Creación del proyecto en TIA PORTAL	37
23. Selección de dispositivos desde el árbol de proyectos	37
24. Dispositivos agregados	38
25. Subred y direcciones Profibus y Ethernet.....	39
26. Área de transferencia	39
27. Compilación de dispositivos.....	40
28. Carga avanzada de dispositivos	40
29. Bloque y lenguaje de programación del maestro y esclavo.....	41
30. Áreas de transferencia agregadas.....	42
31. Envío de datos mando general y sensor inductivo M→E.....	42
32. Recepción de datos mando general y sensor inductivo M→E	43
33. Bloque FC Y lenguaje SCL de la PT100 del maestro	43
34. Envío de datos de la PT100 (M→E).....	44
35. Bloque FC Y lenguaje SCL de la PT100 del esclavo	44
36. Recepción de datos de la PT100 (M→E)	45
37. Bloque FC y lenguaje SCL del SINAMICS G110 en el esclavo.....	46
38. Envío de datos del SINAMICS G110 (E→M)	46
39. Bloque FC y lenguaje SCL del SINAMICS G110 en el maestro.....	47
40. Recepción de datos del SINAMICS G110 (E→M).....	47
41. Pantalla de inicio del HMI_del_1Slave.	48
42. Pantalla del MAIN_SLAVE	49
43. Pantalla del sensor inductivo de Procesos maestro.....	49
44. Pantalla HOME del ESCLAVO_2_HMI.....	50
45. Pantalla mando general del ESCLAVO_2_HMI.....	50
46. Pantalla MAIN del ESCLAVO_2_HMI.....	51

47. Pantalla medición de temperatura y alarmas del ESCLAVO_2_HMI	51
48. Pantalla registro de producción del ESCLAVO_2_HMI	52
49. Pantalla de control del motor con variador del ESCLAVO_2_HM	53
50. Pantalla general de los procesos del ESCLAVO_2_HMI	54
51. Añadir canal y configurar OPC	55
52. Configuración de dirección del dispositivo en el NI OPC.....	55
53. Propiedades de las tag.....	56
54. Listado de marcas en NI OPC.....	56
55. Comprobación en OPC Quick Client.....	57
56. Agregando booleano e imágenes	57
57. Creación de variables de controles en DSC.....	58
58. Controles añadidos en el VI.....	59
59. Tab control.....	59
60. Case Structure, While Loop y Tab Control en Block Diagram	60
61. Mando general en Block Diagram.	60
62. Asignación de controles e indicadores de los procesos en Block Diagram.....	61
63. Comunicación control DSC y tag OPC	62
64. Pantalla inicial mando general en LabVIEW	62
65. Pantalla visión general de los procesos en LabVIEW	63
66. Prueba Control tablero y HMI	64
67. Prueba controles e indicadores del registro de producción con el sensor inductivo. 65	
68. Prueba control de temperatura	65
69. Prueba controles e indicadores del control del motor con variador.....	66
70. Prueba mando general en LabVIEW.	66
71. Prueba SCADA en LabVIEW	67

LISTA DE ABREVIACIONES

HART	Highway addressable remote transducer (Transductor remoto direccionable en red)
SCADA	Supervisory Control and Data Acquisition (Supervisión, Control y Adquisición de Datos).
PID	Proporcional Integral Derivativo
PLC	Controlador Lógico Programable
CIM	(Computer Integrated Manufacturing)
LLC	Logical Link Control
LAN	Local Área Network, (Red de área local)
LAN WAN	Local Área Network -Wide Area Network (Red de área local-Red de área amplia)
MTU	Master Terminal Unit
RTU	Remote Terminal Unit
E/S	Entradas y salidas
SB	Signal board (placa de señales)
CB	Placa de comunicación
GPRS	General Packet Radio Service (Servicio de Paquetes Vía Radio).
BB	Placa de Batería
SM	Módulo de Señales
RTD	Detector de Temperatura Resistivo).
CM	Módulo de Comunicación
CP	Procesador de Comunicación.
OB	Bloque de Organización.
FC	Funciones.
FB	Bloque de Función.
DB	Bloque de Datos.
I	Memoria imagen de proceso de las entradas.
Q	Memoria imagen de proceso de las salidas.
M	Área de marcas.
Temp	Memoria temporal.
KOP	Esquema de contactos.
FUP	Diagrama de funciones.

LISTA DE ANEXOS

- A** Programación de elementos y dispositivos en el MAESTRO_DP
- B** Programación de elementos y dispositivos en el ESCLAVO_1_PLC
- C** Variables declaradas MAESTRO_DP
- D** Variables declaradas ESCLAVO_1_PLC
- E** Manual de operación y mantenimiento
- F** Guía de prácticas de laboratorio

RESUMEN

En el presente trabajo de titulación, se realizó el diseño e implementación de un sistema SCADA con comunicación Profibus DP para el control y monitoreo de procesos industriales. Mediante la selección del módulo, denominado tablero de redes industriales en el Laboratorio de Automatización de la Facultad de Mecánica. Para el desarrollo de éste trabajo, se investigó acerca de la comunicación a aplicar; topología y configuración para el envío y recepción de datos entre los PLC (Controlador Lógico Programable) con sus respectivos módulos de comunicación para maestro y esclavo, también sobre sistemas SCADA; utilizando una HMI KTP600 DP y el software LabVIEW. Creada la subred con todos los dispositivos existentes, se procede a programar cada uno de los elementos y dispositivos que conforman el módulo entre ellos tenemos pulsadores, leds, sensor inductivo M18, sensor de temperatura PT100 y un variador SINAMICS G110 con la ayuda del software TIA PORTAL V13. Realizada la respectiva configuración y programación, se diseñó el sistema en el PLC esclavo, mostrando en éste los procesos simulados con sus respectivos controles e indicadores, dotándole de una interfaz amigable al usuario. Además se realizó el enlace a LabVIEW mediante un servidor, realizando en éste software el diseño del sistema. Terminado el diseño e implementación del SCADA, se realizaron las pruebas de funcionamiento tanto de la transferencia de datos y programación, como de la simulación de los procesos obteniendo un control correcto y adquisición de datos del sistema, tanto en la pantalla implementada y en LabVIEW. Para el adecuado manejo y óptimo desempeño de los procesos, dispositivos, elementos, se creó una guía de prácticas y el manual de operación y mantenimiento para evitar problemas con su operatividad. Al término del proyecto se evidencia el alcance deseado en los objetivos.

PALABRAS CLAVES: <COMUNICACIONES INDUSTRIALES>, <REDES INDUSTRIALES>, <PROFIBUS PERIFERIA DESCENTRALIZADA (DP)>, <SUPERVISIÓN, CONTROL Y ADQUISICIÓN DE DATOS (SCADA)>, <TIA PORTAL (SOFTWARE)>, <LABVIEW (SOFTWARE)>, <TRANSFERENCIA DE DATOS>, <ADQUISICIÓN DE DATOS>

ABSTRACT

This research is the design and implementation of a SCADA (Data Monitoring, Control and Acquisition) system with Profibus communication DP (Decentralized Periphery) to control and monitor the industrial processes, selecting the module entitled industrial networks panel in the Automation Laboratory in the Mechanics Faculty. For developing this research, first the communication to be applied was investigated; as well as the topology and configuration for sending and receiving data among the PLC (Programmable Logic Controller), the communication modules for the master and slave, and SCADA systems by using a KTP600 HMI (Human Machine Interface) DP and the LabVIEW software. Once the subnetwork was created with all the existent devices, each one of the elements and devices in the module were programmed, as the switches, led diodes, inductive sensor M18, temperature sensor PT100 and a SINAMICS G110 variator with the help of the TIA PORTAL V13 portal. After the configuration and programming was made, the PLC slave system was designed, which shows the simultaneous processes with the corresponding controls and indicators, and thus offering the user a friendly interface. The link to LabVIEW was also made through a server, and with this software the system design. In order to finish the SCADA design and implementation, the operation tests were applied to the data transfer and programming, as the processes simulation obtaining a correct control and data acquisition from the system, in the implemented screen and on the LabVIEW. For an appropriate management and optimum performance of the processes, devices, and elements, a guide for practical activities and an operation and maintenance manual were created to avoid problems with the operability. At the end of the project the desired objectives significance was demonstrated.

Keywords: <INDUSTRIAL COMMUNICATIONS>, <INDUSTRIAL NETWORKS>, <PROFIBUS DESCENTRALIZED PERIPHERY (DP)>, <DATA MONITORING, CONTROL, AND ACQUISITION (SCADA)>, <TIA PORTAL (SOFTWARE)>, <LABVIEW (SOFTWARE)>, <DATA TRANSFER>, <DATA ACQUISITION>

CAPÍTULO I

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes

La comunicación en la industria es y será de gran relevancia, porque en éste se basa el control y supervisión de los procesos. Hace varias décadas la transmisión de información desde el equipo, maquinaria y sistemas hacia los departamentos de mantenimiento y producción, se ejecutaba por papeles y formularios, lo cual provocaba un difícil análisis de dicha información para la toma de decisiones.

La transmisión de información entre instrumentación de campo y el sistema de control se regían casi en su totalidad en señales analógicas. En la actualidad las comunicaciones industriales se manejan en la mayoría de los casos con dispositivos digitales, los cuales presentan varias ventajas como por ejemplo la rapidez transmisión la facilidad de guardarlos, capacidad de almacenamiento muy superior a la existente en años pasados. La transmisión de cada variable, dato o información se la realiza por un par de hilos, los cuales transmiten secuencialmente datos por medio de un cable de comunicaciones llamado bus.

Los sistemas de control y adquisición de datos con interfaz hombre máquina, originalmente se desarrollaron para suplir las necesidades de un sistema de control centralizado, debido a la existencia de varios dispositivos en el campo de trabajo, lo cual representa disminuir costos, arranques rápidas y eficientes de equipos y sistemas, en tiempo real. El avance en las comunicaciones industriales ha permitido incluir nuevas formas de conectividad, que permiten estar en contacto con todos los procesos que conforman una planta.

Los sistemas SCADA se diseñaron para cubrir las necesidades de un sistema de control centralizado, sobre procesos distribuidos o descentralizados en áreas muy extensas, lo cual representa optimizar costos, puestas en marcha rápidas y eficientes, control y supervisión y tiempo real, etc. Hoy en día con el desarrollo de las redes digitales, la definición se tiene que modificar para incluir esta nueva forma de conectividad.

1.2 Justificación.

El Laboratorio de Automatización cuenta con equipos y módulos, varios de ellos producto de trabajos de tesis, por lo que este proyecto tiene como finalidad diseñar e implementar un sistema SCADA con comunicación PROFIBUS, que es aplicable en todos los procesos industriales. Ya que permite una rápida comunicación y transmisión de datos, lo cual proporciona información para la pronta detección y eliminación de fallos, con la previa planificación del Mantenimiento Preventivo. La conexión directa de los dispositivos de proceso permite ahorrar en cableado y componentes mecánicos para interconexión, distribución, alimentación y montaje en el campo; con menores gastos de planificación e ingeniería, así como más bajos costes de puesta en marcha.

Finalmente para poder implementar el proyecto es necesaria la correspondiente programación del sistema SCADA y la configuración del sistema de comunicación Profibus, a aplicarse en los módulos del Laboratorio, mediante el análisis y estudio previamente realizados con profesionales afines al tema, se logrará demostrar la eficiencia de un sistema SCADA con comunicación Profibus, aumentando la capacidad de respuesta a cualquier inconveniente que pueda presentarse dentro del proceso de operación, manipulación y de mantenimiento.

1.3 Objetivos

1.3.1 *Objetivo general.* Diseñar e implementar un sistema SCADA con comunicación Profibus para el control y monitoreo de procesos industriales en el Laboratorio de Automatización de la Facultad de Mecánica.

1.3.2 *Objetivos específicos:*

Analizar los módulos didácticos del Laboratorio de Automatización y determinar los que posean la tecnología necesaria para la conexión mediante comunicación PROFIBUS.

Rediseñar el módulo didáctico elegido para el desarrollo del sistema SCADA con comunicación Profibus DP, mediante la implementación de dispositivos que permitan dicha comunicación.

Programar los controladores para el control independiente de los procesos modulares con un

lenguaje adecuado dependiendo las características de cada uno, y una interfaz de usuario para la adquisición de datos, control y monitoreo de todo el sistema didáctico con la utilización de software STEP 7-TIA PORTAL V13 y LabVIEW 2015.

Realizar pruebas de funcionamiento de la comunicación Profibus DP y el SCADA, mediante la simulación de los procesos en el módulo a aplicarse.

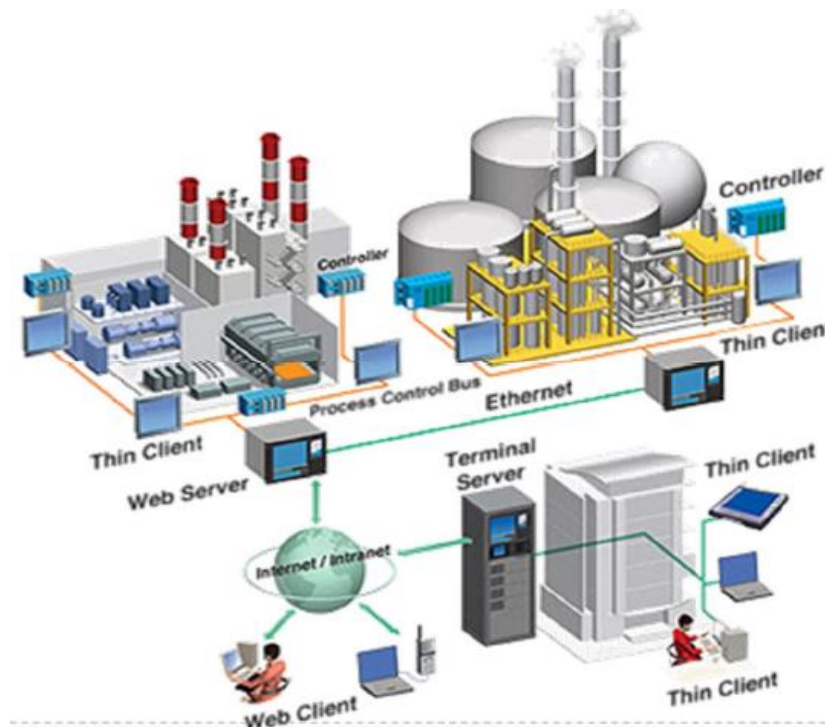
CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1 Comunicaciones industriales.

En el siglo pasado el avance tecnológico vino a la par que la revolución industrial, en la que los sistemas mecánicos eran el motor de la industria en general y en el desarrollo de los procesos o sistemas industriales. A finales del siglo XX los sistemas de automatización renacen con mayor fuerza, mejorando los sistemas eléctricos basados en relés electromagnéticos, y los sistemas electrónicos de estado sólido. La aparición de los autómatas programables marcó un hito en los procesos de ensamblaje, almacenamiento, líneas de producción, control de calidad, etc. El concepto de línea de producción automatizada se hizo realidad. Este dispositivo facilitó que los procesos industriales fuesen, más eficientes, precisos y reprogramables, reduciendo el gran costo que se producía al reemplazar el complejo sistema de tableros de control y potencia, que eran significativamente grandes y hoy en día casi obsoletos. (Hurtado Torres, 2012)

Figura 1. Diagrama de comunicaciones industriales.



Fuente: <http://edu-hvcom.blogspot.com/p/curso-hvcom.html>

Por lo cual el avance tecnológico de los procesos de automatización están ligados al desarrollo de las redes de comunicación, los cuales optimizan los procesos de fabricación en las empresas, por más complejo que éste sea, reduciendo pérdidas, costos, incrementando la calidad del proceso y del producto, además de incrementar la eficiencia y un mayor control en los procesos de producción. (Hurtado Torres, 2012)

2.2 Redes industriales

Las redes de campo industriales son aquellas que permiten adquirir, supervisar y controlar, desde un computador central o un master, al que llegan todas las variables de un proceso o sistema industrial. (Corrales, 2007)

Las PC usadas para el control y supervisión automático ha mejorado, llegando a un único computador central, monitoreando los controladores analógicos. Estos procesadores abarcan los controladores PID, paneles de control, PLC, sensores, actuadores, etc. Los cuales se encuentran integrados en las redes de control industriales. (Villajulca, 2010)

Con los datos adquiridos a través de las redes, se toman decisiones en forma computarizada y/o personalizada, para controlar los dispositivos que activarán o desactivarán los elementos de campo, que mantienen el desarrollo del proceso dentro de los márgenes de funcionamiento definidos por el operador.

2.2.1 Clasificación de las redes de comunicación industrial. Según el ambiente en donde van a desarrollarse, existen varios tipos de redes, dependiendo de las características requerida para responder a las necesidades de transferencia de información en tiempo real. Además, deben poseer un grado de protección por la gran cantidad de ruido electromagnético y condiciones ambientales extremas. Según su uso se separan en dos áreas principales: una a nivel de campo, y una hacia el SCADA. Para ambos casos el envío y recepción de datos se realiza en tiempo real. Mejorando de éste modo las actividades de logística y control en los procesos de la planta. (Hurtado Torres, 2012)

Figura 2. Pirámide CIM de comunicación



Fuente: http://www.infopl.net/files/documentacion/comunicaciones/infoPLC_net_introduccion3b3n-a-las-redes-de-comunicacion3b3n-industrial.pdf

Lo óptimo en una industria completamente automatizada, debería basarse en la pirámide CIM (Computer Integrated Manufacturing), la cual indica en su primer nivel los actuadores y sensores que reciben y envían datos digitales y analógicos, el segundo nivel el de campo, que considera ciertos controladores programables, el tercer nivel el de célula, que conlleva controladores de más nivel y el último nivel que es administrativo. (Hurtado Torres, 2012)

2.2.1.1 *Red de factoría.* Nivel administrativo, la cantidad de información intercambiada es muy alta, aquí se encuentran los sistemas SCADA. (Hurtado Torres, 2012)

2.2.1.2 *Red de planta.* Para comunicar el nivel de célula y el de control. Generalmente se emplea para la conexión entre ingeniería y planificación, con las de control de producción en planta y secuencia de operaciones. Estas redes deben manejar extensa información, errores de transmisión, entre las funciones principales. (Hurtado Torres, 2012)

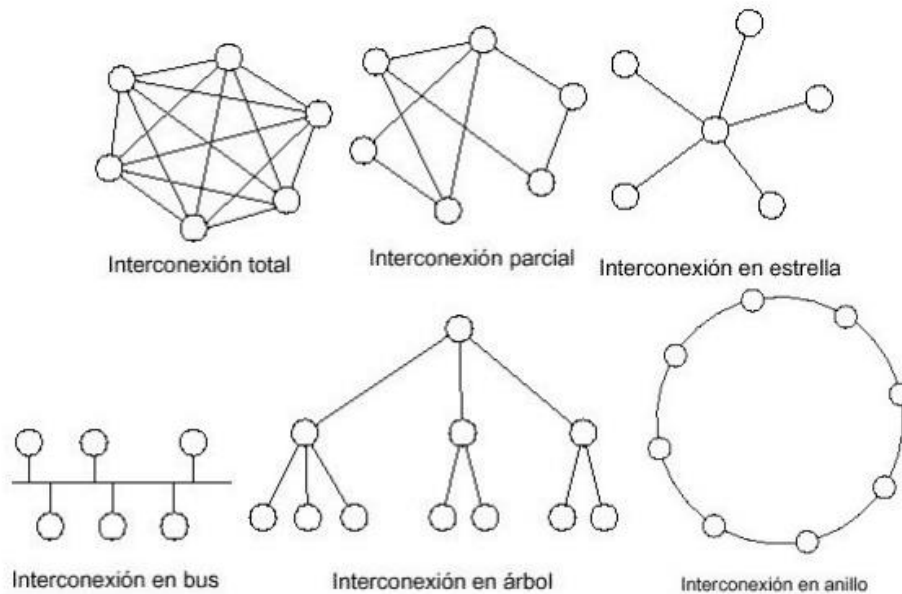
2.2.1.3 *Red de célula.* Las cualidades son: gestionar mensajes cortos, tráfico de eventos, mecanismos de control, bajo costo de instalación y de conexión por nodo. Es el que se encuentra en las gerencias o supervisiones de la empresa. (Rosado Muñoz, 2009)

2.2.1.4 *Red de campo.* Se encuentran dispositivos, con características de control de actuadores y sensores. Como son los PLC.

2.2.2 *Topologías de red.* Se conoce como topologías de red a las estructuras de

comunicación. Éstos pueden tener las redes de transmisión. (Rosado Muñoz, 2009)

Figura 3. Topologías de red



Fuente: http://www.uv.es/rosado/courses/sid/Capitulo1_rev1.pdf

Existe una topología física (define la estructura física de la red, como se muestra en la figura 2) y una lógica (que son de reglas generalmente asociadas a una topología física), en el control de la red y en la forma en la que se puede expandir y actualizar. (Rosado Muñoz, 2009)

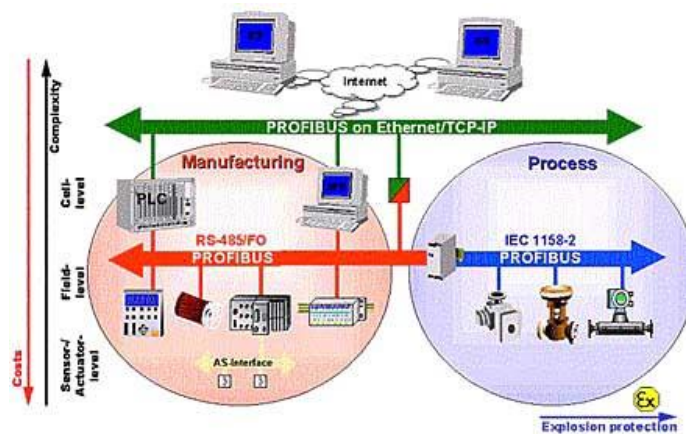
2.2.2.1 Interconexión total y parcial. La interconexión total, cuando los nodos de la red se encuentran conectados de forma directa, conocido como conexión punto a punto. La interconexión es parcial cuando no todos los nodos de la red pueden conectarse mediante un enlace punto a punto. (Rosado Muñoz, 2009)

2.2.2.2 Interconexión en estrella. Cuando se encuentra ésta conexión, se permite que cada nodo de la red se conecte a un nodo central, dicha acción permite controlar la transferencia de datos de la red. (Rosado Muñoz, 2009)

Se recomienda en caso de que los nodos de la red no se encuentren muy distanciados del nodo central debido al coste que supone cablear cada nodo hasta el nodo central. (Rosado Muñoz, 2009)

2.2.2.3 *Interconexión en bus.* Todos los elementos conectados al denominado BUS, el cual es el medio de envío y recepción de datos. La información es transmitida por el bus hacia todos los nodos. Esta conexión es la más generalizada en las industrias, permite cubrir gran extensión, comunicación cruzada y regulación de datos. (Villajulca, 2010)

Figura 4. Ejemplo de interconexión en bus



Fuente: Foundation Field bus

2.2.2.4 *Interconexión en anillo.* La transferencia de información se envía de dispositivo a dispositivo hasta llegar a su destino, si falla uno de los dispositivos sigue cumpliendo su función. No hay un nodo que se considere principal. (Rosado Muñoz, 2009)

2.2.2.5 *Interconexión en árbol.* Se determina como el encadenamiento de diferentes estructuras en un bus, con diferentes ramas de conexión entre sí. Pues existen varias estructuras de bus, cada una debe incorporar elementos propios de los dispositivos, así como los elementos de enlace. (Rosado Muñoz, 2009)

2.2.3 *Elementos de enlace entre topologías.* Entre las principales citadas anteriormente, se pueden combinar, mediante la suma de elementos de enlace tales como repetidores, concentradores, puentes, encaminadores, etc. (Rosado Muñoz, 2009)

2.2.3.1 *Repetidor.* Permite copiar la información que recibe de un dispositivo, el cual puede ser de campo, y amplifica su señal. Los repetidores se utilizan por lo general para amplificar o incrementar el tamaño de una subred, por lo que no son utilizados para acoplar subredes diferentes. (Rosado Muñoz, 2009)

2.2.3.2 *Puentes (bridge)*. Posibilitan el acople de subredes que se desenvuelven con el mismo protocolo de comunicación. Los puentes usualmente se utilizan para enlazar redes locales que tiene diferente topología, debido a que los soportes y métodos de acceso al bus de las subredes pueden ser diferentes. (Rosado Muñoz, 2009)

2.2.3.3 *Encaminador (router)*. Permite encontrar el camino óptimo de los datos a través de una red existente mediante criterios de distancias y retardo de transmisión de información. Para cumplir su función el encaminador modifica las características de los paquetes de datos entrantes antes de volver a transmitirlos. (Rosado Muñoz, 2009)

2.2.3.4 *Pasarela (gateway)*. Se utiliza para unir redes con diferentes topologías, una pasarela tiene como objetivo convertir los protocolos de comunicación de todos los niveles. La desventaja es que ofrecen una velocidad más reducida. (Rosado Muñoz, 2009)

2.2.4 *Protocolos de comunicación*. Se conocen como un compendio de reglas, las que permiten el envío y recepción de datos entre los dispositivos que conforman una red. La existencia de sistemas de control automatizados llegan a convertirse en estos casos en las redes. Los protocolos permiten ejecutar un enlace entre las distintas etapas que conforman un proceso. (Rosado Muñoz, 2009)

2.3 Bus de campo

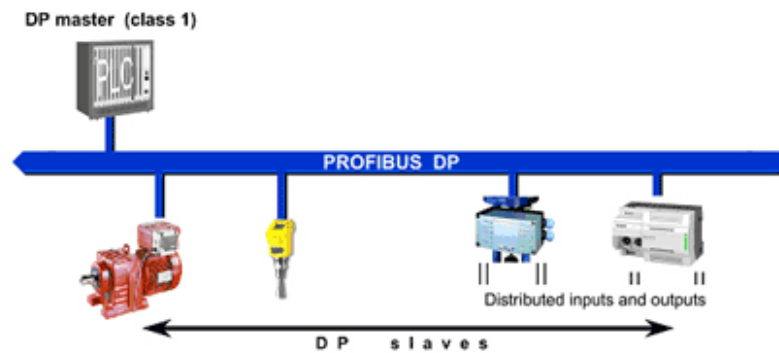
Un bus de campo es un medio de envío y recepción de información, lo que reduce la instalación, operación de máquinas y sistemas, al igual que equipamientos industriales en los procesos de producción. (Gravito Vasquez, 2009)

El bus de campo es utilizado para reemplazar las conexiones punto a punto, por lo que cada dispositivo adquiere cierta capacidad de proceso el cual lo convierte en un elemento inteligente. Dichos elementos son capaces de realizar acciones tales como: supervisión, control y mantenimiento, además de comunicarse en ambas direcciones por medio del bus. (Gravito Vasquez, 2009)

2.3.1 *Ventajas de los buses de campo*. Tiene la capacidad de sustituir sistemas de control centralizados por redes de control, esto ayuda a incrementar la calidad del

producto, optimizar costos y por consecuencia mejora la eficiencia. Para ello se basan en que la información transferida entre los dispositivos de campo es digital, lo cual resulta más preciso. (Gravito Vasquez, 2009)

Figura 5. Actuadores y sensores en una red industrial.



Fuente: <http://www.instrumentacionycontrol.net/cursos-libres/automatizacion/curso-supervision-procesos-por-computadora/item/271-los-buses-de-campo-directo-al-grano.html>

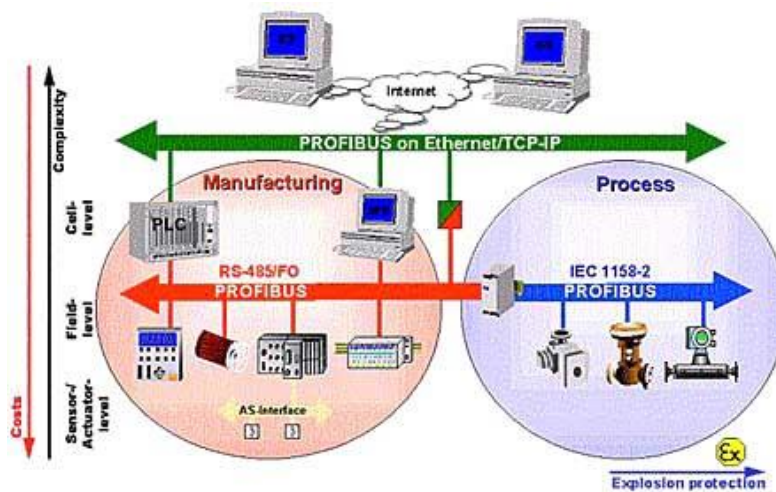
Ventajas de los buses de campo:

- Ahorro en costos de montaje, mantenimiento y en general en el funcionamiento del sistema.
- Disminución de cableado utilizado para el control de un sistema o instalación.
- Mejora la fiabilidad del sistema o proceso.
- Permite a los operadores supervisar los dispositivos que integran el sistema y permite interpretar las interacciones entre ellas, por lo cual su corrección resulta más sencilla y práctica.
- Incremento de la flexibilidad al usuario en la interfaz del sistema.
- Permite la comunicación en ambas direcciones entre los dispositivos de campo y los sistemas de control.

- Simplifica la adquisición de información, lo cual permitirá el diseño de sistemas de control más eficientes. (Gravito Vasquez, 2009)

2.4 PROFIBUS

Figura 6. Comunicación Industrial Profibus



Fuente: Profibus Internacional

Profibus (Process Field Bus) es un bus de campo abierto para interconectar dispositivos, con un campo de aplicaciones amplio en procesos de fabricación y automatización. Este es un bus que posee todas las características de una red de comunicación serie industrial. Se utiliza como medio de transferencia de datos con los dispositivos distribuidos en el campo. (Diez Barrero, 2008)

2.4.1 *Características generales.* Según la norma EN 50170 (DIN 19245) son:

- Abierto. Profibus está controlado por un comité de estandarización, por lo tanto permite la comunicación entre equipos de diferentes marcas sin la necesidad de un sistema de comunicación adicional.
- Independiente de fabricantes, los equipos para Profibus son ofrecidos por muchas marcas, las cuales han de estar debidamente certificadas.
- La comunicación bidireccional entre sistemas de control de procesos y

dispositivos de campo es ejecutada a través de par trenzado.

- Exactitud, por el reconocimiento de comandos y mensajes, Profibus es un sistema de comunicación que posee un nivel de seguridad alto.
- Multi-funcional, Profibus es adaptable a todas las tareas de automatización, logrando la transmisión de datos entre controladores con los dispositivos de campo.
- Capacidad de diagnóstico. El estándar Profibus define algunas formas de diagnósticos, entre el sistema que controla los procesos y los elementos de campo.
- Expansión del sistema. Un equipo extra puede ser implementado sin necesidad de reformar la estructura existente, incluso sin interrumpir la comunicación.
- Bajo coste. disminuye cableado y simplifica los diagramas de conexión, es competitivo en el mercado.
- Constante actualizado por Profibus Internacional. (Profibus Internacional, 2012)

2.4.2 *Profibus DP*. Se utiliza para el control de procesos distribuidos. Diseñado para la comunicación entre sistemas de control automático E/S distribuidas o remotas en campo. Permite intercambiar información de forma rápida y cíclica. (Diez Barrero, 2008)

Incrementa velocidad y eficiencia, reduce costos de conexión, orientado, generalmente usado para la comunicación entre sistemas automáticos y los dispositivos distribuidos en el nivel de campo. Profibus DP considera: distancias, velocidades, requerimientos y la energía necesarios, para realizar una comunicación de campo. (Diez Barrero, 2008)

2.4.3 *Características generales*. DP tiene una gran tasa de transferencia, una manipulación sencilla, alta capacidad de diagnóstico y protección contra interferencia. En cuanto a velocidad necesita 1 ms a 12 Mbit/s para transmitir 512 bits de datos de entrada y 512 bits de datos de salida entre 32 estaciones descentralizadas. Gracias a que en un único ciclo de mensaje con DP se pueden enviar y recibir datos de E/S,

incrementa su velocidad en comparación con FMS. Diagnóstico de funciones. La gran cantidad de funciones de diagnóstico permiten una rápida localización de errores. Los mensajes de diagnóstico y alarmas son administradas y gestionadas por el maestro. (Diez Barrero, 2008)

- Diagnóstico de estación. Corresponde a información de temperaturas, presiones, voltajes, etc.
- Diagnóstico de módulo. Estos mensajes indican valores de trabajo en las estaciones.
- Diagnóstico relacionado con el canal. En este caso la posible causa del error es la alteración en el funcionamiento de uno de los dispositivos de los que dependen de la estación. (Diez Barrero, 2008)

2.4.4 *Configuración del sistema.* DP permite sistemas mono-maestro y multi-maestro, esto proporciona un alto grado de flexibilidad durante la configuración del sistema. Un máximo de 126 dispositivos, maestros o esclavos, pueden ser conectados a un bus con repetidores. Las especificaciones de la configuración del sistema define el número de estaciones, asigna direcciones a cada estación de E/S, da consistencia a los datos de E/S, forma el sistema de mensajes de diagnóstico y establece los parámetros a utilizar por el bus. (Diez Barrero, 2008)

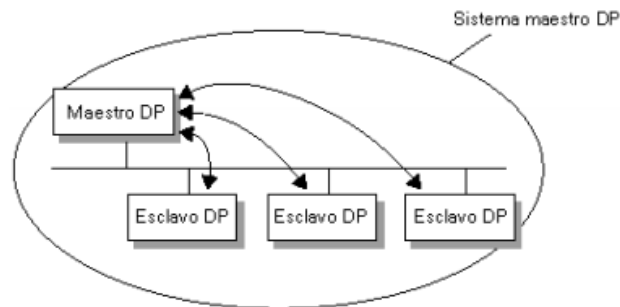
2.4.4.1 *DP maestro clase 1 (DPMI).* Este es un controlador central que intercambia datos de forma cíclica con las estaciones distribuidas usando un determinado mensaje cíclico. (Diez Barrero, 2008)

2.4.4.2 *DP maestro clase 2 (DPM).* Los de esta clase ponen en marcha, mantener y hacer el diagnóstico de posibles errores del bus; así como de configurar los dispositivos conectados si fuera necesario, evaluar los datos adquiridos por las E/ y los parámetros de las estaciones, como de monitorizar el estado de éstos. (Diez Barrero, 2008)

2.4.4.3 *Esclavos.* Un esclavo es un dispositivo periférico, tal como: E/S, convertidores de frecuencia de motores, válvulas, transductores, etc.; pudiendo haber dispositivos que

proporcionan o sólo E/ o sólo /S. La información de E/S que pueden suministrar depende del tipo de dispositivos que son, pudiendo proveer un máximo de 246 bytes de E/ y otros 246 bytes de /S. (Diez Barrero, 2008).

Figura 7. Configuración Mono - Maestro



Fuente: http://www.infopl.net/files/descargas/siemens/infoPLC_net_tutorial-redes-Profibus-dp.pdf

En sistemas mono-maestro, sólo un maestro está activo en el bus durante el periodo de operación del bus. El controlador programable es el componente central. En la figura anterior, que nos muestra una configuración de mono-maestro, los esclavos descentralizados, están enlazados con el PLC mediante el medio de transmisión. Esta configuración reduce el tiempo del ciclo del bus, al simplificar la comunicación. (Hurtado Torres , 2010)

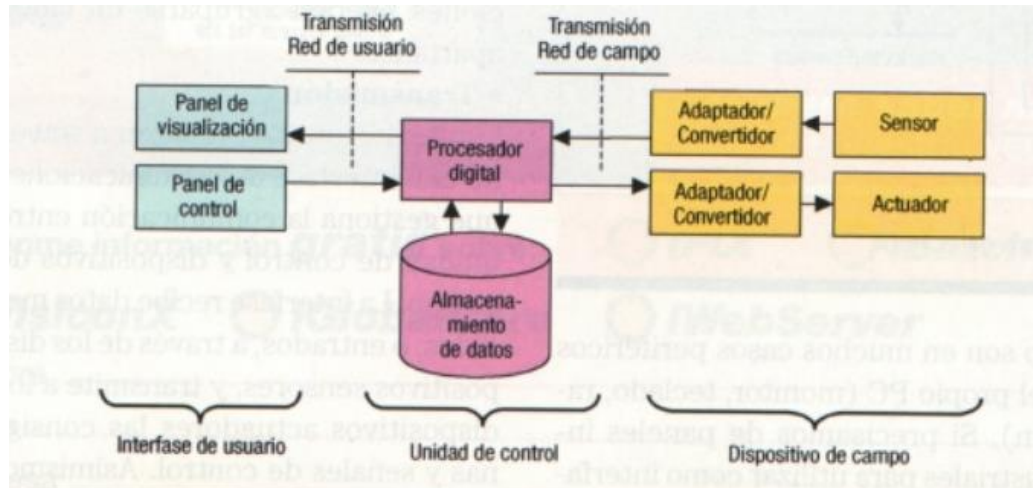
En sistemas multi-maestro se deben configurar varios maestros conectados a un mismo bus. Esos maestros representan cada uno un subsistema independiente, cada uno consiste en un DPM1 al que se le asigna unos determinados esclavos y unos dispositivos de diagnóstico. Todos los maestros del bus pueden leer la imagen de las E/S de todos esclavos, pero sólo pueden acceder a los esclavos que les hayan sido asignados en el periodo de configuración. (Hurtado Torres , 2010)

2.5 SCADA

SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition o Adquisición de datos y supervisión de Control), está diseñado para automatizar el monitoreo y control de procesos industriales, comunicándose con los dispositivos de campo controlando de

forma automática desde un master o computadora principal. (Salazar Serna , y otros, 2011)

Figura 8. Esquema Básico de un SCADA



Fuente: <http://www.uco.es/investiga/grupos/eatco/automatica/ihtm/descargar/scada.pdf>

Los sistemas SCADA han eliminado la necesidad de estar físicamente vigilando y ajustando los componentes del proceso, una red de sensores transmite información del estado de los componentes a una sala de operadores que deciden si hay que realizar alguna modificación sobre el proceso. Muchas veces esta toma de decisiones está apoyada por una unidad central que descarga al operario de tareas repetitivas dejándole actuar sobre el sistema a muy alto nivel. La comunicación se realiza mediante buses especiales o redes de área local. Todo esto se ejecuta normalmente en tiempo real, y están diseñados para dar al operador de planta la posibilidad de supervisar y controlar dichos procesos. (Salazar Serna , y otros, 2011)

2.5.1 *Funciones.* Entre las funciones de un sistema SCADA podemos enunciar las siguientes:

- Supervisión remota de instalaciones y equipos el cual permite al operador conocer el estado de desempeño de las instalaciones y equipos alojados en la planta, lo que permite dirigir las tareas de mantenimiento y estadística de fallas.
- Control remoto de instalaciones y equipos activando y desactivando equipos, además es posible ajustar parámetros, valores de referencia, algoritmos de control, etc.

- Generación de históricos o base de datos que permita crear informes, avisos, y documentos en general.
- Visualización gráfica dinámica en la cual el sistema es capaz de brindar imágenes que representen el comportamiento del proceso.
- Representación de señales de alarma alertando al operador de una falla o la presencia de una condición fuera de lo aceptable.
- Programación de eventos creando subprogramas que brinden automáticamente reportes, estadísticas, gráfica de curvas, etc. (Lozano, y otros)

2.5.2 *Requisitos.* Teniendo en cuenta que existen diversos tipos de sistemas SCADA dependiendo del fabricante y del uso que se le desee dar al programa, se debe tener en cuenta una serie de requisitos básicos.

- Deben ser sistemas de arquitectura abierta, capaces de crecer o adaptarse según las necesidades cambiantes de la empresa.
- Deben conectarse con total facilidad y de forma transparente al usuario con las redes locales y de gestión.
- Deben ser programas sencillos de instalar, sin excesivas exigencias de hardware y fáciles de utilizar, con interfaces amigables con el usuario. (Lozano, y otros)

2.5.3 *Componentes de hardware.*

2.5.3.1 *Master Terminal Unit, MTU.* Se trata de un computador principal el cual se encarga de supervisar, controlar y recibir la información del resto de unidades, estos computadores suelen ser un PC el cual soporta el HMI (Human Machine Interface). Las funciones principales del MTU son:

- Interrogar en forma periódica a los RTU, y les transmite consignas siguiendo usualmente un esquema maestro- esclavo.

- Se usa como interfaz al operador, incluyendo la presentación de información de variables en tiempo real, administra alarmas, y permite la recolección y presentación de información histórica.
- Puede ejecutarse software especializado que cumpla funciones específicas asociadas al proceso supervisado por el SCADA. (Abaffy, y otros, 2007)

2.5.3.2 Remote Terminal Unit, RTU. Estos procesadores están situados en los nodos estratégicos del sistema gestionando y controlando subestaciones del sistema, reciben señales de los sensores de campo, y comandan los elementos finales de control ejecutando el software de la aplicación SCADA. Se encuentran en un nivel intermedio de Automatización, a nivel superior está el MTU y a un nivel inferior los distintos instrumentos de campo que son los que ejercen la Automatización física del sistema, control y adquisición de datos. Estos computadores no tienen que ser PC ya que la necesidad de soportar un HMI no es tan grande a este nivel suelen ser computadores industriales, aunque en sistemas muy complejos puede haber subestaciones en formato HMI. Una tendencia son los PLC (en función de E/S a gestionar) con la capacidad de funcionar como RTU gracias a un nivel de integración mayor y CPU con mayor potencia de cálculos. (Salazar Serna , y otros, 2011)

2.5.3.3 *Red de comunicación.* Se encarga de enviar y recibir información del punto dónde se realizan las operaciones al punto dónde se supervisa y controla el proceso.

El tipo de bus utilizado en las comunicaciones puede ser muy variado según las necesidades del sistema y del software escogido para implementar el SCADA, ya que no todos las aplicaciones de software (así como los instrumentos de campos como PLC) pueden trabajar con todos los tipos de bus. (Salazar Serna , y otros, 2011)

2.5.3.4 *Instrumentos de campo.* Son todos aquellos que permiten realizar la Automatización o control del sistema (PLC, controladores de procesos industriales, y actuadores en general), al igual que los que se encargan de captar la información del sistema mediante sensores y alarmas. (Salazar Serna , y otros, 2011)

CAPÍTULO III

3. HARDWARE, SOFTWARE Y MÓDULO UTILIZADO

3.1 Controlador programable S7-1200

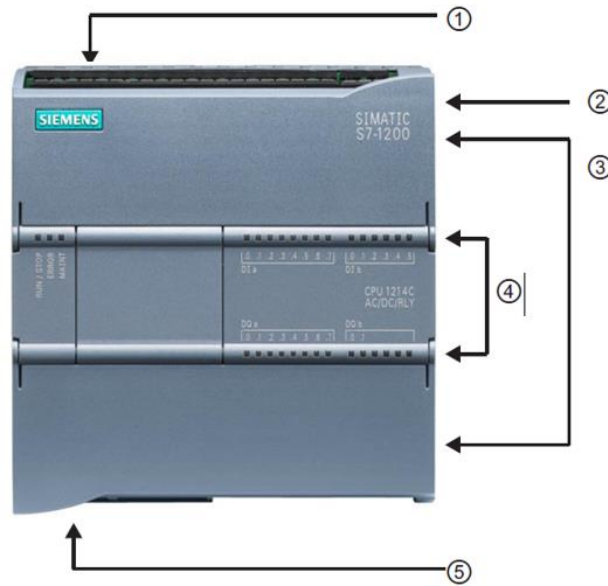
3.1.1 *Generalidades.* El controlador S7-1200 ofrece una potencia y flexibilidad necesarias para controlar una gran variedad de dispositivos para las distintas necesidades de Automatización. Su diseño compacto, fácil configuración y amplio juego de instrucciones, el S7-1200 es idóneo para controlar una gran variedad de aplicaciones.

La CPU incorpora un microprocesador, una fuente de alimentación integrada, circuitos de entrada y salida, PROFINET integrado, E/S de control de movimiento de alta velocidad y entradas analógicas incorporadas, todo ello en una carcasa compacta, conformando así un potente controlador. Una vez cargado el programa en la CPU, ésta contiene la lógica necesaria para vigilar y controlar los dispositivos de la aplicación. La CPU vigila las entradas y cambia el estado de las salidas según la lógica del programa de usuario, que puede incluir lógica booleana, instrucciones de conteo y temporización, funciones matemáticas complejas. La CPU incorpora un puerto PROFINET para la comunicación en una red PROFINET. Hay disponibles módulos adicionales para la comunicación en redes PROFIBUS, GPRS, RS485 o RS232. (SIEMENS, 2012)

El S7-1200 está compuesto por:

- Ranura de corriente. (1)
- Ranura para Memory Card. (2)
- Conectores extraíbles para el cableado de usuario. (3)
- LED's de estado para las E/S integradas. (4)
- Conector Profinet (5)

Figura 9. Controlador programable SIMATIC S7-1200.



Fuente: <https://support.industry.siemens.com/cs/document/36932465/simatic-s7-controlador-programable-s7-1200?dti=0&lc=es-WW>

El CPU 1214C del S7-1200 posee catorce entradas y diez salidas digitales, además dos entradas analógicas, se puede ampliar hasta con ocho SM, también se puede ampliar con tres CM, con seis contadores, cuatro generadores de impulsos, opción para una SIMATIC Memory Card, un puerto de comunicación Ethernet, con una velocidad de ejecución de funciones matemáticas de $2.3 \mu\text{s/instrucción}$ y una velocidad de ejecución booleana de $0,08 \mu\text{s/instrucción}$.

3.1.2 *Capacidad de expansión.* La CPU soporta una placa de ampliación tipo plugin: Una Signal Board (SB) proporciona E/S adicionales a la CPU, que se conecta en la parte frontal. Una placa de comunicación (CB) permite agregar un puerto de comunicación adicional. Una placa de batería (BB) ofrece respaldo a largo plazo del reloj en tiempo real.

Los módulos de señales SM agregan funciones a la CPU, se conectan en el lado derecho. Proporcionan E/S digitales, E/S analógicas, RTD y termopar.

Los módulos de comunicación CM y los procesadores de comunicación (CP) agregan opciones de comunicación. Soporta hasta 3 CM o CP, éstos se conectan en el lado izquierdo.

3.1.3 Ejecución del programa de usuario.

3.1.3.1 *Bloques lógicos soportados por la CPU.* Los bloques de organización (OBs) son los que definen la estructura del programa. Estos bloques sirven de interfaz entre el sistema operativo y el programa de usuario. Los OBs son controlados por eventos. Las funciones (FCs) y los bloques de función (FBs) contienen el código de programa correspondiente a tareas específicas o combinaciones de parámetros. Los números válidos para FC y FB van de 1 a 65535. Los bloques de datos (DBs) almacenan datos que pueden ser utilizados por los bloques del programa. Los números válidos para DB van de 1 a 65535.

3.1.4 Tipos de datos soportados

Tabla 1. Tipos de datos soportados por el S7-1200

Tipc 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', '!', '@'
Sint	8	120 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 ⁻³⁸ a +/-3,40 x 10 ³⁸	123,456, -3,4, -1,2E+12, 3,4E-3
LReal	64	+/-2,23 x 10 ⁻³⁰⁸ a +/-1,79 x 10 ³⁰⁸	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 ¹	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

Fuente: Manual de sistema. Controlador programable S7-1200

3.1.5 Lenguaje de programación.

- KOP (esquema de contactos).- Es un lenguaje de programación gráfico. Su representación se basa en esquemas de circuitos. Los elementos de un esquema de circuitos, tales como los contactos normalmente cerrados y normalmente abiertos, así como las bobinas, se combinan para formar segmentos.
- FUP (diagrama de funciones).- Es un lenguaje de programación que se basa en los símbolos lógicos gráficos empleados en el álgebra booleana. Las funciones matemáticas y otras operaciones complejas pueden representarse directamente en combinación con los cuadros lógicos.
- SCL (structured control language).- Es un lenguaje de programación de alto nivel basado en PASCAL. (SIEMENS, 2012)

3.2 SIMATIC HMI KTP600 Basic color DP

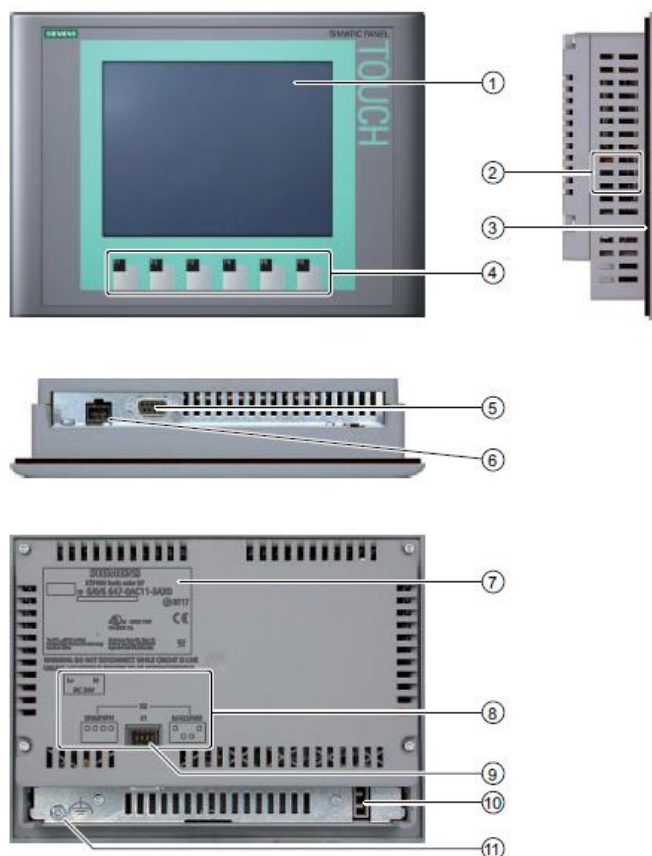
3.2.1 *Generalidades.* Posee un LCD-TFT, tiene una resolución de 320x240 píxeles con 256 colores. En los elementos de mando se tiene teclas de función, teclado numérico y alfanumérico. Funciona con una tensión de alimentación de 24VDC y tiene un consumo nominal de 0.35 A, posee un procesador RISC 32 bits. Contiene una memoria flash y una memoria RAM. La memoria usable es de 1 Mbyte para datos de usuario. Tiene una interfaz RS 485 y RS 422, protocolo Profibus, MPI y MODBUS. El software de configuración es STEP7 (TIA Portal) y WinCC. (SIEMENS, 2012)

La KTP 600 Basic DP posee:

- Pantalla táctil (1)
- Escotaduras para las mordazas de fijación (2)
- Junta de montaje (3)
- Teclas de función (4)

- Interfaz RS-422/485 (5)
- Conexión para la fuente de alimentación (6)
- Placa de características (7)
- Nombre del puerto (8)
- Interruptor DIL (9)
- Guía para las tiras rotulables (10)
- Conexión para tierra funcional (11)

Figura 10. SIMATIC HMI KTP600 Basic color DP

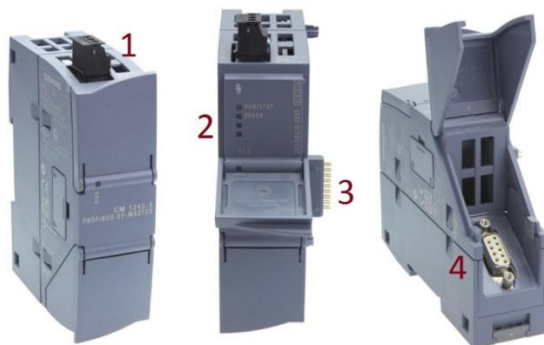


Fuente: <https://support.industry.siemens.com/cs/products/6av6647-0ac11-3ax0/simatic-hmi-ktp600-basic-color-dp?ps=50&pid=326210&ntp=Manual&ml=es&mlfb=6AV6647-0AC11-3AX0&mfnp=ps&lc=es-WW>

3.3 Maestro Profibus CM 12435

3.3.1 *Generalidades.* El módulo de comunicación CM1243-5 se utiliza para conectar un maestro SIMATIC S7-1200 como Profibus DP. Soporta hasta 16 Profibus DP esclavos, puede comunicarse con otros controladores S7, permite conexión entre dispositivos de programación y paneles con interfaz Profibus, se puede realizar operaciones de diagnóstico con STEP7, además soporta todas las velocidades de transmisión común de 9,6KBit/s hasta 12Mbit/s. (siemens, 2014)

Figura 11. Maestro Profibus CM 1243-5



Fuente: <http://www.automation24.com/control-systems/siemens-cm-1243-5-6gk7243-5dx30-0xe0-i101-1697-0.htm>

El CM 1243-5 consta principalmente de:

- Conector hembra para fuente de alimentación externa (1)
- LEDs de estado (2)
- Pines del CM para conectar al CPU (3)
- Conector hembra Sub-D (4)

3.3.2 Posibles esclavos DP-V0/V1 para el maestro DP CM 1243-5

- Periferia descentralizada SIMATIC ET200.
- CPUs S7-1200 con CM 1242-5.

- CPUs S7-200 con módulo DP PROFIBUS EM 277.
- Convertidor de frecuencia SINAMICS.
- Accionamientos y actuadores de diversos fabricantes.
- Sensores de diversos fabricantes.
- S7-300/400-CPU con interfaz PROFIBUS.
- S7-300/400 con CP PROFIBUS (p. ej. CP 342-5).
- Estaciones PC SIMATIC con CP PROFIBUS.

3.4 Esclavo Profibus CM 1242-5

3.4.1 *Generalidades.* Para la velocidad de transferencia en PROFIBUS se admiten valores CM de 9,6 kbits/s a 12 Mbits/s. El CM 1242-5 recibe alimentación de tensión a través del bus de fondo. La conexión PROFIBUS se encuentra detrás de la tapa inferior de la carcasa del módulo. La interfaz es un conector hembra el cual funciona según la técnica de transferencia RS485.

Figura 12. Esclavo Profibus CM 1242-5



Fuente: <http://www.automation24.com/control-systems/siemens-cm-1242-5-6gk7242-5dx30-0xe0-i101-1696-0.htm>

El CM 1242-5 consta principalmente de:

- LEDs de estado (1)
- Pines del CM para conectar al CPU (2)
- Conector hembra RS-485 (3)

3.4.2 Posibles maestros DP para el esclavo DP CM 1242-5

- SIMATIC S7-1200, S7-300, S7-400, S7-Modular Embedded Controller.
- Módulos maestros DP de la periferia descentralizada SIMATIC ET200.
- Estaciones PC SIMATIC.
- Equipos de Automatización de diversos fabricantes.

3.5 Conector de bus Profibus Fast Connect

La interfaz que usa este tipo de conector es la RS485, tiene un aislamiento galvánico entre la pantalla del cable y el sistema electrónico. El conector de bus PROFIBUS Fast Connect permite: conectar estaciones con una interfaz eléctrica de 9 polos sub D según IEC 61158-2 con los cables PROFIBUS de SIMATIC NET además permite conectar estaciones o programadoras al repetido-

Figura 13. Conector de bus Profibus



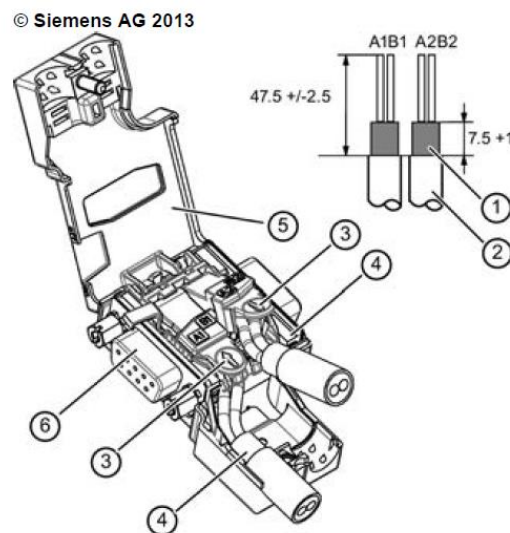
Fuente: https://www.automation.siemens.com/bilddb/search.aspx?objkey=P_ST70_XX_05237

3.5.1 *Montaje del cable Profibus en el conector.* Para realizar montaje, se debe

identificar las partes y realizar el siguiente proceso:

- Pantalla de cable
- Cable de bus: Pelar el cable.
- Tapa de cierre para conexión por desplazamiento del aislamiento: Introducir los hilos verde y rojo hasta el tope por la tapa de contacto abierta. Cerrar la tapa de contacto (presionarla hasta el tope).
- Encajar a presión el cable en el hueco (la pantalla del cable ha de apoyar desnuda sobre el elemento de contactado).
- Cerrar y atornillar la tapa de la carcasa.

Figura 14. Montaje del cable del bus



Fuente: <https://support.industry.siemens.com/cs/document/33974136/conector-de-bus-Profibus-fastconnect-con-sin-conector-de-pg-hasta-12mbaudios?dti=0&lc=es-WWg>

3.6 STEP 7- TIA PORTAL V13

TIA PORTAL es una de las herramientas de Automatización industrial clave en la industria ya que optimiza todos los procedimientos de planificación, maquinaria, procesos y sistemas.. Mediante una interfaz flexible y fácil de usar permite al usuario

obtener una completa información al igual que integrar proyectos y datos sin ningún esfuerzo lo cual garantiza la seguridad de la inversión.

Con TIA PORTAL V13 será mucho más fácil la etapa de diseño, puesta en marcha, operación y mantenimiento además permite la actualización de soluciones de Automatización lo que implica ahorro en tiempo, costos y esfuerzos.

3.7 LabVIEW 2015

LabVIEW constituye un revolucionario sistema de programación gráfica para aplicaciones que involucren adquisición, control, análisis y presentación de datos. Es un entorno de programación destinado al desarrollo de aplicaciones, similar a los sistemas de desarrollo comerciales que utilizan el lenguaje C o BASIC. Sin embargo, LabVIEW se diferencia de dichos programas en un importante aspecto: los citados lenguajes de programación se basan en líneas de texto para crear el código fuente del programa, mientras que LabVIEW emplea la programación gráfica o lenguaje G para crear programas basados en diagramas de bloques.

El programa se divide en dos partes bien diferenciadas, una llamada “Panel Frontal”, y otra “Diagrama de Bloques”.

Panel Frontal: es la interfaz con el usuario, la utilizamos para interactuar con el usuario cuando el programa se está ejecutando. En esta interfaz se definen los controles (los usamos como entradas, pueden ser botones, marcadores etc.) e indicadores (los usamos como salidas, pueden ser gráficas, etc.)

Diagrama de Bloques: es el programa propiamente dicho, donde se define su funcionalidad, aquí se colocan íconos que realizan una determinada función y se interconectan (el código que controla el programa). Suele haber una tercera parte icono/conector que son los medios utilizados para conectar un VI con otros VIs.

3.7.1 *NI-OPC.* El módulo NI OPC Servers permite comunicarse con cualquier controlador lógico programable (PLC) de diferentes formas. OPC (OLE for Process Control) define el estándar para comunicar datos en tiempo real entre los dispositivos de control de una planta y las interfaces hombre-máquina (HMI). Los servidores OPC

están disponibles virtualmente para todos los PLCs.

3.7.2 *DSC*. El módulo Datalogging and Supervisory Control (DSC) amplía los beneficios de la programación gráfica al desarrollo de aplicaciones Supervisory Control and Data Acquisition (SCADA) o de registro de datos de gran cantidad de canales. Usa las herramientas para comunicar controladores lógicos programables (PLC) y controladores de Automatización programables (PACs) convencionales, registrar datos a bases de datos, administrar alarmas y eventos y crear interfaces humano-máquina (HMI). (NATIONAL INSTRUMENTS, 2015)


3.8 Selección y rediseño del módulo

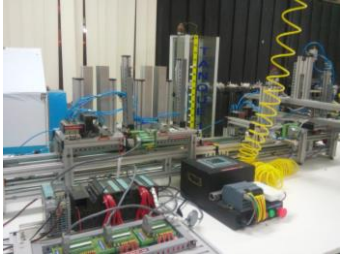
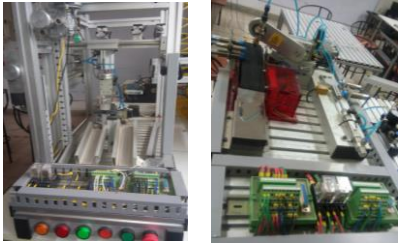

3.8.1 *Características para la selección del módulo*. Para la selección del módulo se determinaron algunas características necesarias para el desarrollo de la red de comunicación Profibus entre ellas tenemos:



- Equipos y elementos necesarios para realizar la comunicación Profibus (maestro-esclavo).
- Espacio suficiente para la implementación de equipo y elementos adicionales si esto fuera necesario sin necesidad de modificar en gran medida la estructura existente.
- Firmware de los PLC compatibles con las versiones del software a utilizarse.
- Fácil movilidad del módulo para desplazarse dentro del Laboratorio para realizar pruebas y simulaciones.


3.8.2 *Selección del módulo*. Para la selección del módulo se tomó muy en cuenta que se cumpla con las características antes mencionadas, para lo cual se analizó la mayoría de los equipos y módulos existentes en el Laboratorio de Automatización de la facultad.

Tabla 2. Análisis de módulos

<p>NOMBRE DE MÓDULOS DIDÁCTICOS</p> <p>(Asignados por Autor)</p>	<p>DESCRIPCIÓN GENERAL DEL MÓDULO</p>	<p>CPU-CM-HMI</p>	<p>POSIBILIDAD DE COMUNICACIÓN CON EL ESTÁNDAR Profibus DP, RS 485.</p>
<p>Opción 1: TABLERO DE REDES INDUSTRIALES</p> 	<p>Éste módulo cuenta con dos PLC S7-1200, CSM 1277, una, Signal Board, un CM 1243-5, un CM 1242-5, una HMI KTP 600, un SINAMICS G110, un sensor inductivo M18, una PT100, una fuente de alimentación, entre los elementos principales del módulo.</p>	<p>S7-1200 Industrial ETHERNET/ PROFINET</p> <p>CM 1243-5 Módulo Maestro Profibus DP</p> <p>CM 1242-5 Módulo Esclavo Profibus DP</p>	<p>SI CON: CM 1243-5 (Como Maestro Profibus DP)</p> <p>CM 2142-5 (Como Esclavo Profibus DP)</p>
<p>Opción 2: ESTACIÓN ENSAMBLADORA</p>	<p>Esta estación cuenta con varias partes que lo conforman, se observa las estaciones de bandas y montajes, con actuadores electro neumáticos. El panel de control lo comanda un PLC S7-300 con módulos SM321 y SM322.</p>	<p>PLC S7-300 Industrial ETHERNET, PROFINET, Industrial Wireless LAN, PROFIBUS, AS-Interface, Modbus RTU, Modbus TCP/IP, ISO on TCP, RS422-485 ASCII/3964(R), KNX.</p>	<p>SI CON: PLC S7-300 (Como Maestro o Esclavo Profibus DP)</p>

	<p>También existe una comunicación con un PLC S7-1200, que cuenta con una HMI KTP-400, una Signal Board, un DES-1008A para puertos Ethernet.</p>	<p>S7-1200 Industrial ETHERNET/ PROFINET</p> <p>KTP-400 Industrial ETHERNET, PROFINET</p>	
<p>Opción 3: PROCESOS MODULARES SIN CPU</p>  	<p>Existen varios procesos modulares que poseen actuadores electroneumáticos, bandas, varios tipos de sensores, y tarjetas de conexión denominadas SYSLINK, fuentes de alimentación, entre los elementos más destacados pero no tienen una CPU que facilite la comunicación, o dichos módulos están incompletos, y no tienen la tecnología necesaria para la comunicación PROFIBUS DP.</p> <p>En las imágenes se ven ejemplos, no se ve el total de los módulos con éstas características, pero se ejemplifica uno de cada tipo descrito.</p>		NO

<p>Opción 4: MÓDULOS PLC-HMI</p> 	<p>Estos módulos poseen: un PLC S7-1200, una HMI KTP 600, un CSM 1277, una CM 1241 (no en todos los módulos) y una fuente de alimentación. La mayoría de este tipo de módulos se encuentran operables.</p>	<p>PLC S7-1200 Industrial ETHERNET/ PROFINET</p> <p>HMI KTP 600 Industrial ETHERNET, PROFINET</p> <p>CM 1241 (RS232) Modbus RTU Maestro/Esclavo, ASCII y Freeport.</p>	<p>NO</p>
<p>Opción 5: BRAZO ROBÓTICO KAWASAKI RS03N</p> 	<p>Este brazo robótico, cuenta con la estructura ensamblada del brazo, un E-CONTROLLER (E76), además de estar junto a un sistema de ensamblaje.</p>	<p>E76</p> <p>Interface Standar: USB, Ethernet, RS232C</p> <p>Interface Option: CC-Link, ControlNet, DeviceNet. Ethernet/IP, PROFIBUS-DP, PROFINET</p>	<p>SI CON:</p> <p>E76</p> <p>Pero no se considera porque se están desarrollando actualmente proyectos de titulación que limitan su uso.</p>

<p>Opción 6: TABLERO DE CONTROL INDUSTRIAL</p> 	<p>Este tablero cuenta con un PLC S7-1500, PLC S7-1200, una Signal Board, un CSM 1277, una HMI KTP 600, Módulos de salidas y entradas digitales, un SINAMICS G120 y una fuente de alimentación entre los elementos más sobresalientes.</p>	<p>PLC S7-1500 Industrial ETHERNET, PROFINET, Modbus TCP.</p> <p>PLC S7-1200 Industrial ETHERNET/ PROFINET</p> <p>HMI KTP 600 Industrial ETHERNET/ PROFINET</p>	<p>NO</p>
--	--	---	-----------

Fuente: Albán, Eduardo y Paguay, Néstor

En el análisis de los módulos se determinó que existen tres opciones que permiten la comunicación con el estándar Profibus DP, el tablero de redes industriales, la estación ensambladora y el brazo robótico KAWASAKI RS03M

Figura 15. Laboratorio de Automatización



Fuente: Albán, Eduardo y Paguay, Néstor

Analizando dichos módulos existentes en el Laboratorio se determinó que el equipo que cumplía con las características especificadas constaba con el nombre de tablero de redes industriales ya que este tenía una red Profinet y Profibus comandada por un sistema de comunicación Ethernet, para lo cual tenía implementada un enlace maestro-esclavo necesario para nuestro sistema de comunicación y un espacio adecuado para la implementación de una nueva pantalla KTP 600 DP como un esclavo más dentro del sistema para el desarrollo de la interfaz hombre máquina de los procesos a intervenir.

Figura 16. Tablero de redes industriales

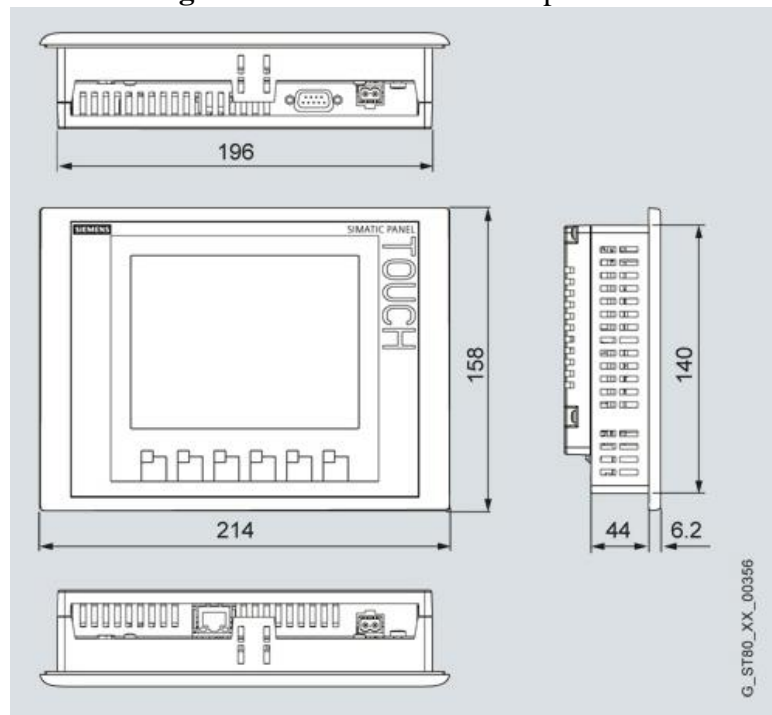


Fuente: Albán, Eduardo y Paguay, Néstor

Además se comprobó la compatibilidad de los firmware de cada una de los PLC tanto con su maestro y esclavo, y con los software STEP 7 para su respectiva programación con la interfaz hombre máquina, y con el servidor NI-OPC para generar E/S digitales y analógicas y llevarlas al lenguaje compatible con LabVIEW y el módulo DSC para el diseño del sistema SCADA.

3.8.3 *Implementación de la HMI en el tablero de redes industriales.* Dentro del proceso de rediseño del tablero se procedió a dimensionar el espacio en el que se ubicara la KTP 600 DP que funcionara como un nuevo esclavo del sistema, además se procedió a despejar por la parte posterior de la superficie horizontal del tablero cualquier cable que se encuentre atravesando el espacio en el que se ubicara la pantalla evitando desconectar algún elemento o equipo.

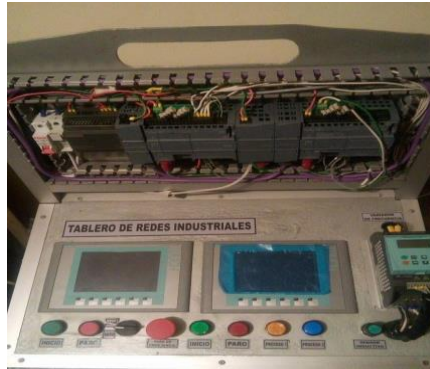
Figura 17. Dimensiones de la pantalla



Fuente: Support Industry Siemens

Posteriormente se procedió a realizar el corte en la superficie horizontal del tablero y se colocó la nueva pantalla con alimentación desde el PLC de 24VDC con un estándar de comunicación interfaz RS485 para realizar la conexión Profibus y la posterior configuración y programación de la misma.

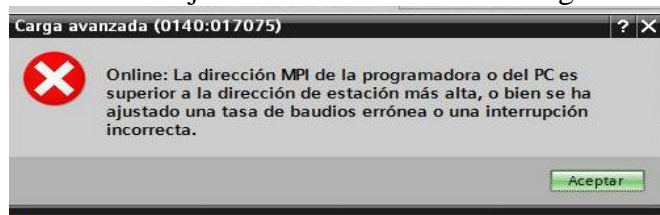
Figura 18. KTP 600DP instalada en el tablero



Fuente: Albán, Eduardo y Paguay, Néstor

3.8.3.1 *Configuración de la HMI (Esclavo 2).* Se realizó la configuración de dos parámetros principales velocidad de transmisión y la dirección IP para que no exista conflicto en la comunicación PLC-HMI-PC.

Figura 19. Mensaje de conflicto antes de configurar la HMI



Fuente: Albán, Eduardo y Paguay, Néstor

Figura 20. Configuración de la velocidad de transmisión de la HMI



Fuente: Albán, Eduardo y Paguay, Néstor

Se configuró la velocidad de transmisión de la HMI a 150kbaud como indica la fig3.16 para obtener comunicación mediante Profibus, otra opción de enlace es configurar a una velocidad de 187,5 kBaud para una comunicación mediante MPI.

Figura 21. Configuración de la dirección de la HMI



Fuente: Albán, Eduardo y Paguay, Néstor

Se designó una dirección diferente para que no haya conflicto al momento de cargar el programar ya que si los demás equipos del sistema poseen una dirección igual simplemente reconoce el equipo pero no permite cargarlo.

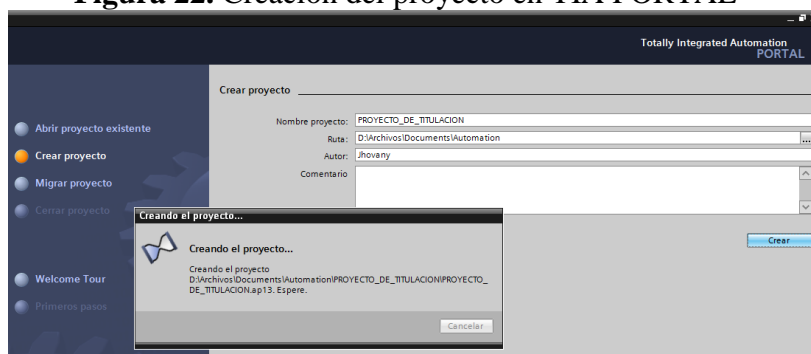
CAPÍTULO IV

4. PROGRAMACIÓN Y DISEÑO DEL SISTEMA SCADA

4.1 Configuración red Profibus con STEP 7 TIA PORTAL V13.

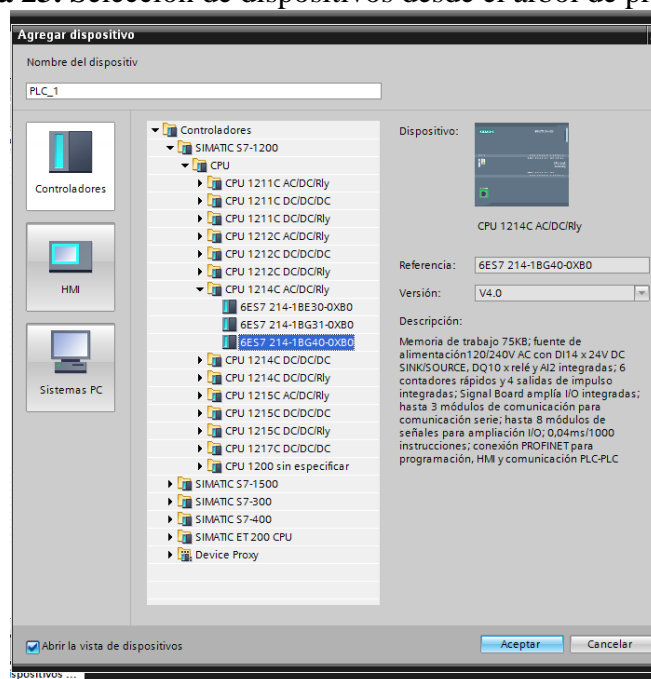
4.1.1 *Creación del proyecto y selección de dispositivos.* El primer paso para la configuración de la red Profibus es abrir el software de programación STEP7 y crear un nuevo proyecto con el nombre “PROYECTO_DE_TITULACIÓN”.

Figura 22. Creación del proyecto en TIA PORTAL



Fuente: Albán, Eduardo y Paguay, Néstor

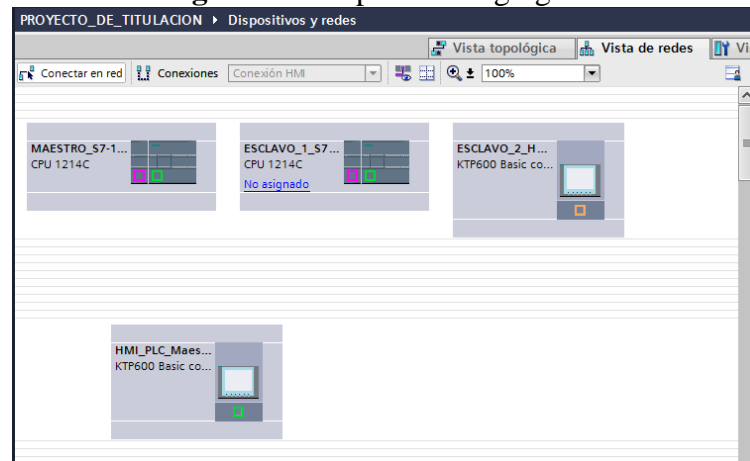
Figura 23. Selección de dispositivos desde el árbol de proyectos



Fuente: Albán, Eduardo y Paguay, Néstor

Después se procedió a abrir la vista del proyecto, posteriormente se abrió la vista de redes para agregar los dispositivos que van a conformar la red maestro-esclavos Profibus desde el árbol del proyecto debemos tomar en consideración la versión del firmware de los PLC y las HMI, hacer esto ayudara a evitar conflictos al momento de cargar el programa en la CPU del PLC.

Figura 24. Dispositivos agregados



Fuente: Albán, Eduardo y Paguay, Néstor

Cada vez que se añadió un PLC se adjuntó desde el catálogo su respectivo módulo de comunicación y Signal Board para el esclavo1 como se visualiza en la figura 26 y se describe en la tabla 3.

Tabla 3. Descripción de equipos añadidos

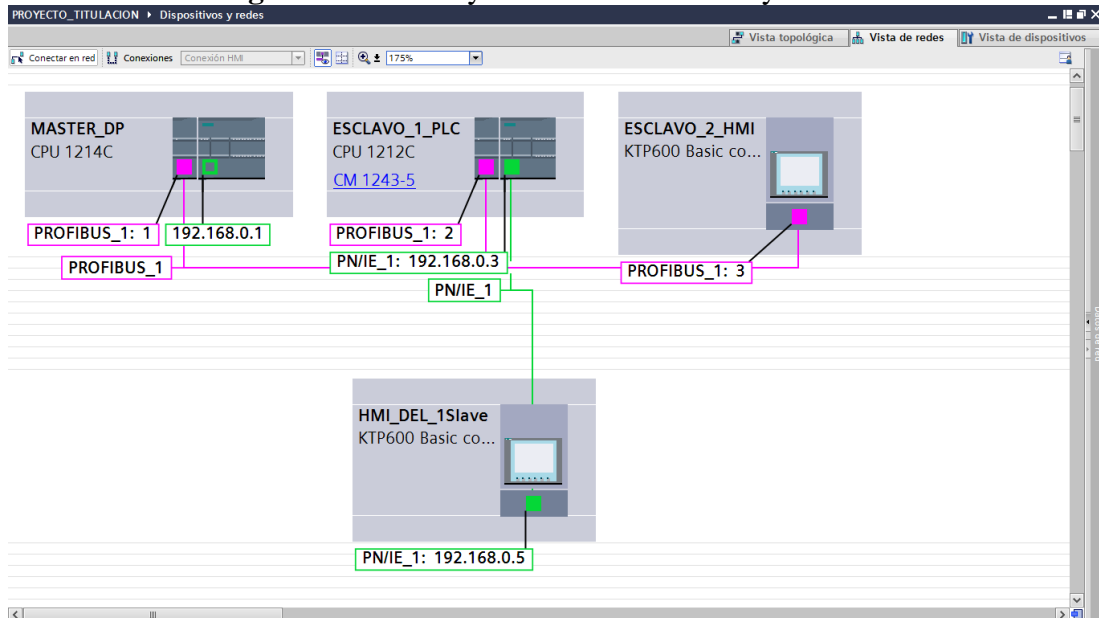
Dispositivos	Versión y referencia	Módulos de comunicación	Signal board	Nombre asignado
CPU 1214 AC/DC/Rly	V4.0 6E57 214-IBG40-0XB0	CM 1243-5 6GK7 243-5DX30-0XE0	_____	MAESTRO_DP
CPU 1214 AC/DC/Rly	V3.0 6E57 214-IBG31-0XB0	CM 1242-5 6GK7 242-5DX30-0XE0	AQ1 Signal Board 6E57 232-4HA30-	ESCLAVO_1_PLC
KTP 600 Basic color PN	V12.0.0.0 6AV6 647-0AD11-3AX0	_____	_____	HMI_DEL_1Slave
KTP 600 Basic color DP	V12.0.0.0 6AV6 647-0AC11-3AX0	_____	_____	ESCLAVO_2_HMI_DP

Fuente: Albán, Eduardo y Paguay, Néstor

4.1.2 *Asignación de direcciones y creación de subredes.* Después de añadidos los equipos se asignó direcciones Profibus y Ethernet a los dispositivos de manera seguida desde el MAESTRO_DP se creó una Subred Profibus a la que se conectan el ESCLAVO_1_PLC y el ESCLAVO-2_HMI_DP. Además desde el ESCLAVO_1_PLC

se conectó mediante una subred Ethernet el HMI_DEL_1Slave para obtener una redundancia de datos en el ESCLAVO_1_PLC con la ayuda de la HMI.

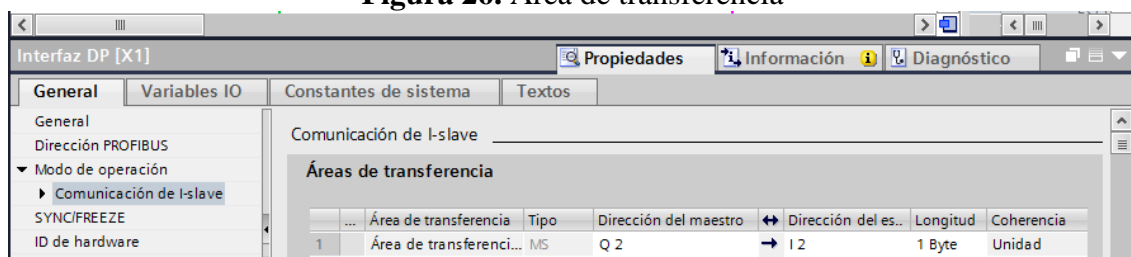
Figura 25. Subred y direcciones Profibus y Ethernet



Fuente: Albán, Eduardo y Paguay, Néstor

4.1.3 *Compilar y cargar dispositivos.* Para realizar este paso primero se generó un área de transferencia del siguiente modo en la pestaña de propiedades se despliega un listado de opciones del cual seleccionamos general, posterior nos dirigimos a modo de operación y seleccionamos la opción comunicación de I-Slave en donde configuraremos nuestra área de transferencia.

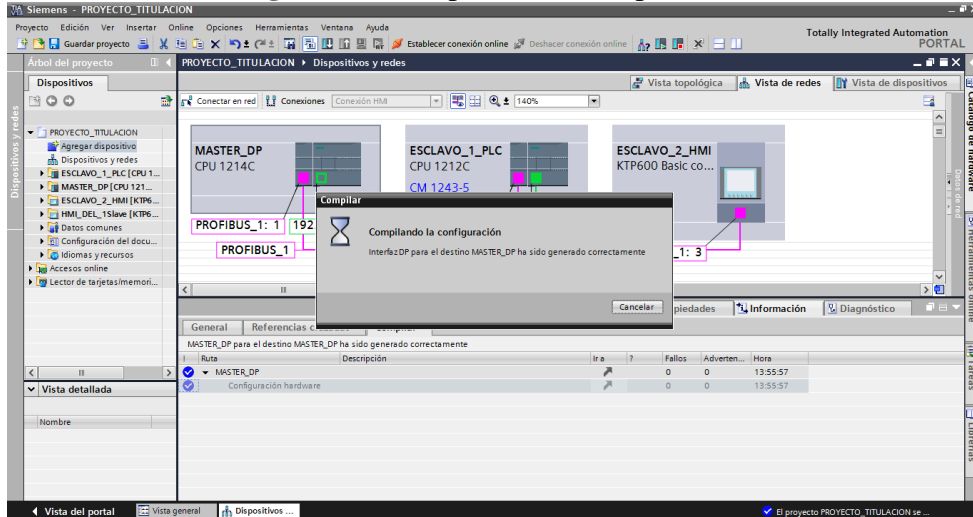
Figura 26. Área de transferencia



Fuente: Albán, Eduardo y Paguay, Néstor

Se generó un área de transferencia debido a que si esta no existe no es posible compilar y cargar el ESCLAVO_1_PLC, una vez realizado este paso se procedió a compilar todos los dispositivos desde la vista de redes.

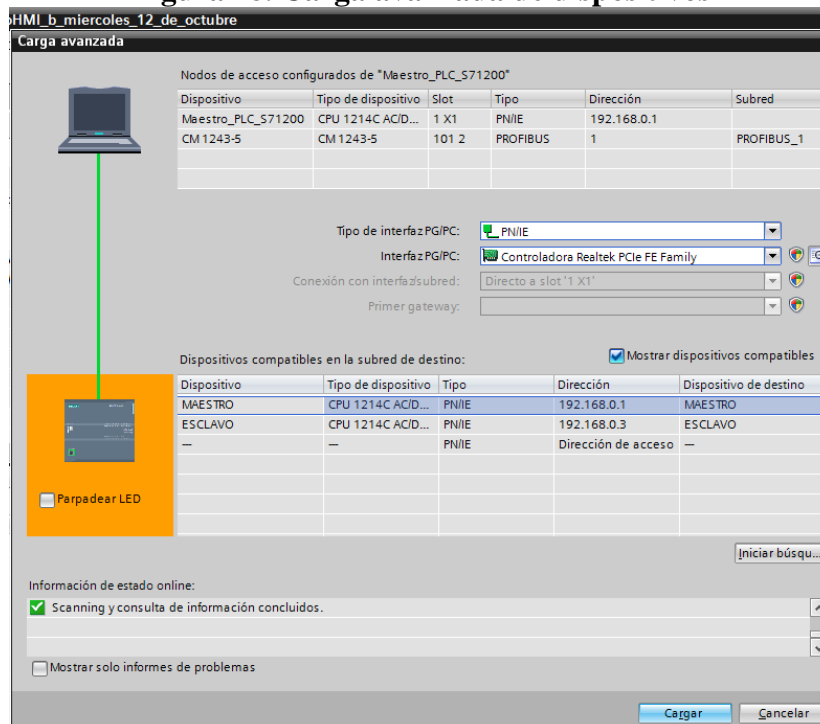
Figura 27. Compilación de dispositivos



Fuente. Albán, Eduardo y Paguay, Néstor

Se evidenció que no se produjo ningún error en la compilación, por lo cual se procedió a cargar todos los dispositivos desde la vista de redes en el caso de los PLC y desde la imagen raíz en el caso de las HMI.

Figura 28. Carga avanzada de dispositivos



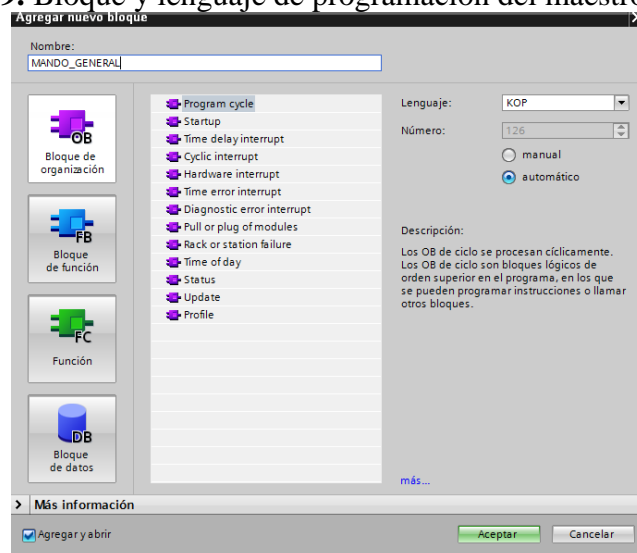
Fuente: Albán, Eduardo y Paguay, Néstor

4.2 Programación y transferencia de datos entre MAESTRO_DP y ESCLAVO_1_PLC.

4.2.1 *Programación del mando general, M18 y PT100 en el MAESTRO_DP.* Tanto el mando general del tablero, sensor inductivo M18 y el sensor de temperatura PT100 se programaron en bloques de programación OB en el lenguaje KOP en el MAESTRO_DP. Se compila y carga lo realizado. Para la programación detallada de cada uno de los dispositivos y elementos de control revisar anexo A

4.2.2 *Programación del SINAMICS G110 en el ESCLAVO_1_PLC.* El variador de frecuencia SINAMICS G110 se programó en bloques de programación OB en el lenguaje KOP en el ESCLAVO_1_PLC. Se compila y carga lo realizado. Para la programación detallada de cada uno del equipo revisar anexo B.

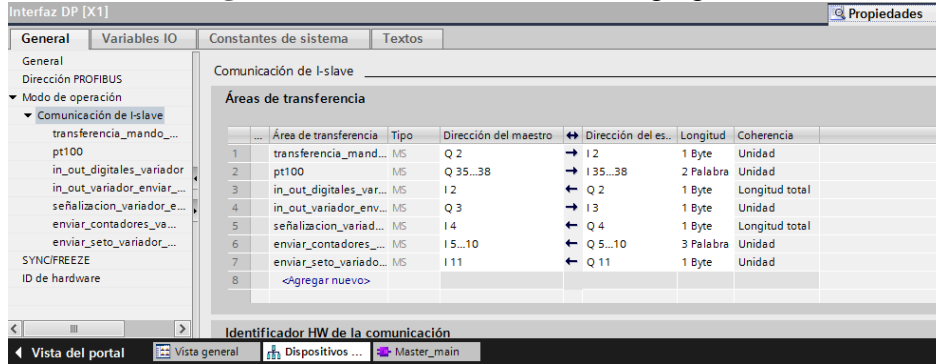
Figura 29. Bloque y lenguaje de programación del maestro y esclavo



Fuente: Albán, Eduardo y Paguay, Néstor

4.2.3 *Transferencia de datos.* Para la transferencia de datos en un red maestro-esclavo Profibus DP existen varias instrucciones que se pueden utilizar, dependiendo de la versión de los módulos de comunicación o procesadores de comunicación, algunas de estas instrucciones son: DPR_DAT, DPWR_DAT, DPNRM_DG, RD_REC, WR_REC, D_ACT_DP, MOVE, entre las más conocidas. En este caso al tener el CM1243-5 y el CM1242-5 se optó por usar la instrucción MOVE y bloques de programación FUNCION (FC) con lenguaje SCL.

Figura 30. Áreas de transferencia agregadas

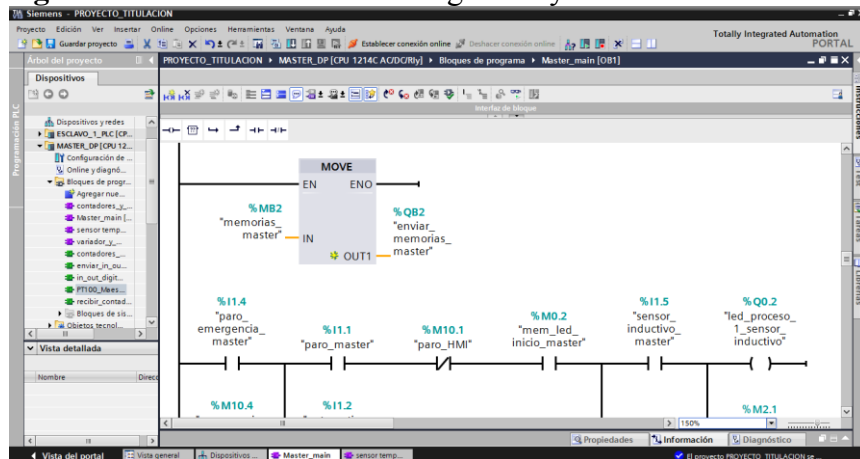


Fuente: Albán, Eduardo y Paguay, Néstor

En primer lugar se asignó las áreas de transferencia a utilizarse dependiendo, del tipo, longitud y cantidad de datos, se configuró dicha área de transferencia y se le asignó un nombre, hay que tener en cuenta que no se debe utilizar el área de transferencia dos veces debido a que no se ejecutara ninguna de los dos. Se compila y carga lo realizado.

4.2.3.1 *Transferencia de datos del mando general y sensor inductivo M→E.* Para esto se configuró el área de transferencia denominada transferencia_mando_gral con la dirección en el maestro Q2 y en el esclavo I2 como se muestra en la fig.3.26. Con la instrucción MOVE o “Copiar valor” permite transferir el contenido del operando de la entrada IN mediante una secuencia de bits en este caso MB2 de las memorias del maestro al operando de la salida de la salida OUT 1 asignada como QB2, realizándose la transferencia siempre por orden ascendente de direcciones. Se compila y carga lo realizado.

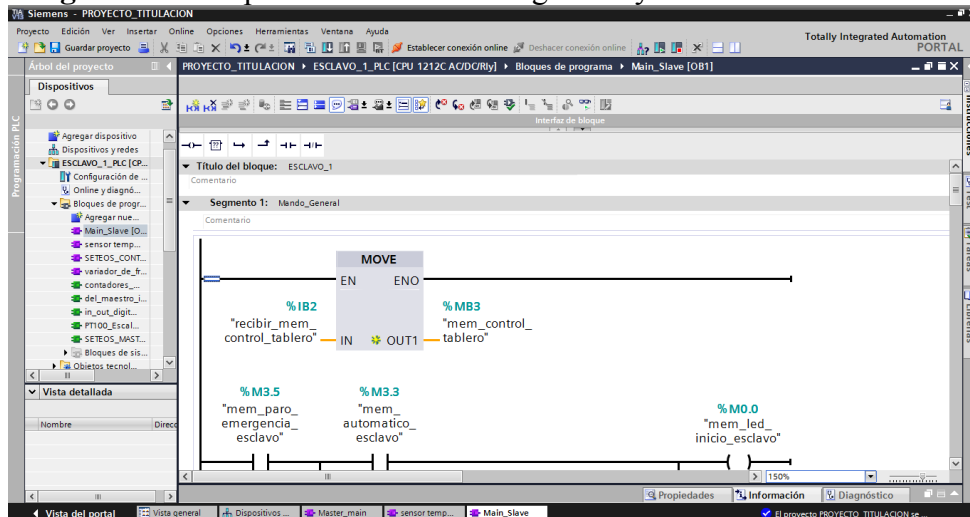
Figura 31. Envío de datos mando general y sensor inductivo M→E



Fuente: Albán, Eduardo y Paguay, Néstor

En el bloque de programación Main_Slave (OB1) del esclavo se introdujo una instrucción MOVE para recibir la secuencia de bits del maestro con la ayuda del área de transferencia asignada como IB2 hacia la memoria del esclavo designadas como MB3. Se compila y carga lo realizado.

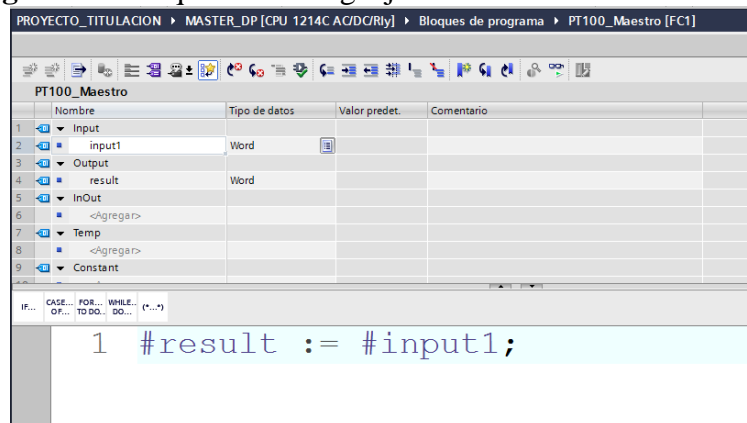
Figura 32. Recepción de datos mando general y sensor inductivo M→E



Fuente: Albán, Eduardo y Paguay, Néstor

4.2.3.2 *Transferencia de datos de la PT100.* Para esto se configuró el área de transferencia denominada pt100 teniendo en cuenta que es una señal analógica se asignó la dirección en el maestro Q35...38 y en el esclavo I35...38, como se muestra en la figura 30. Como se mencionó anteriormente, en este caso se ocupó un bloque de programación FUNCION FC con lenguaje SCL, debido a que se quiso probar con otros métodos de transferencia de datos.

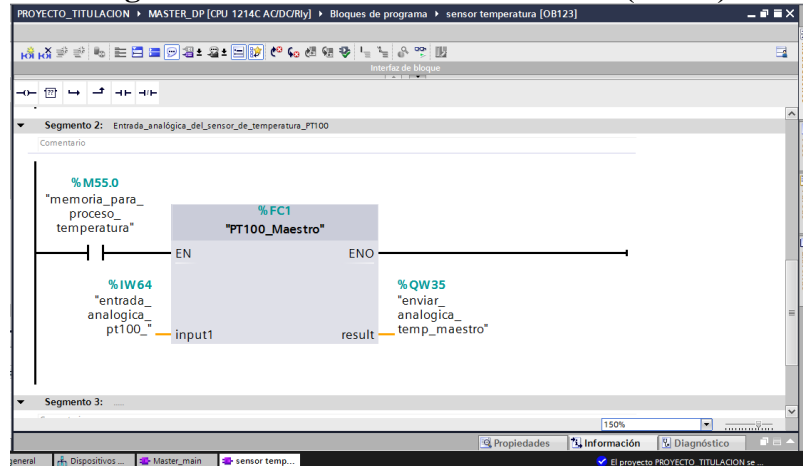
Figura 33. Bloque FC Y lenguaje SCL de la PT100 del maestro



Fuente: Albán, Eduardo y Paguay, Néstor

Una vez creada el FC1 se la llamo al bloque de programación sensor_temperatura OB123 para realizar la programación en KOP de la entrada analógica obtenida del PLC como IW64 ubicando está en la input1 del FC1 y el dato ubicado en el result1 QW35 corresponde a la área de memoria del maestro para transferencia. Se compila y carga lo realizado.

Figura 34. Envío de datos de la PT100 (M→E)



Fuente: Albán, Eduardo y Paguay, Néstor

De igual manera en el esclavo se creó un FC con lenguaje SCL para crear un bloque con una entrada para la recepción de datos enviadas del maestro y una salida para ocupar en el esclavo.

Figura 35. Bloque FC Y lenguaje SCL de la PT100 del esclavo

	Nombre	Tipo de datos	Valor predet.	Comentario
1	Input			
2	result	Word		
3	Output			
4	output	Word		
5	InOut			
6	<Agregar>			
7	Temp			
8	<Agregar>			
9	Constant			

```

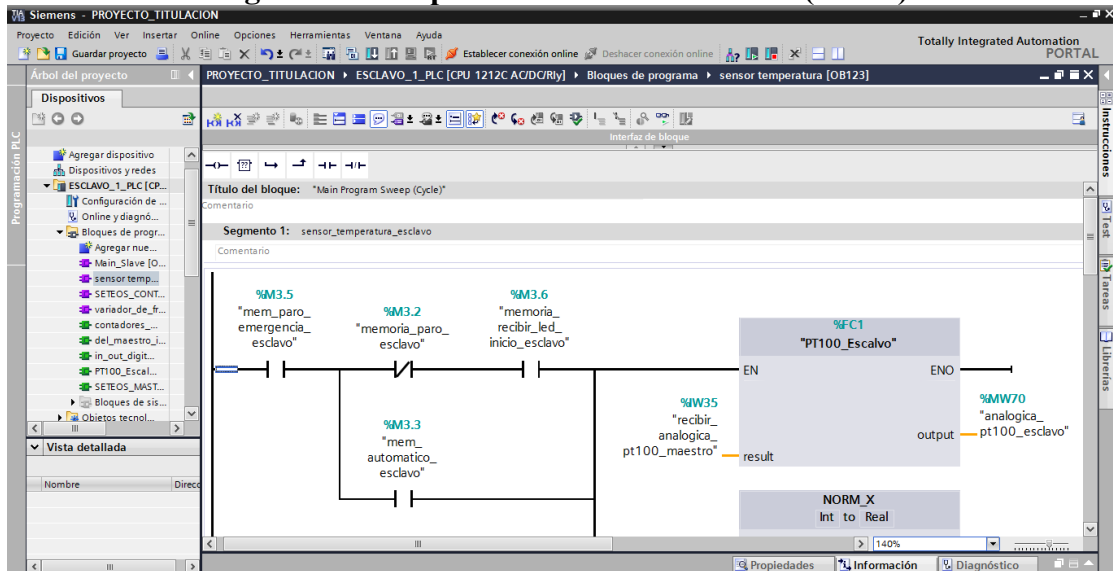
1 #output := #result;

```

Fuente: Albán, Eduardo y Paguay, Néstor

Siguiendo el proceso anterior se llamó a la FC1 del esclavo al bloque sensor_temperatura OB123 para realizar la programación en KOP, ubicando en el result1 del FC1 la QW35 que corresponde al área de transferencia del esclavo y el dato ubicado en el output1 MW70 corresponde a la área de memoria del esclavo. Se compila y carga lo realizado.

Figura 36. Recepción de datos de la PT100 (M→E)



Fuente: Albán, Eduardo y Paguay, Néstor

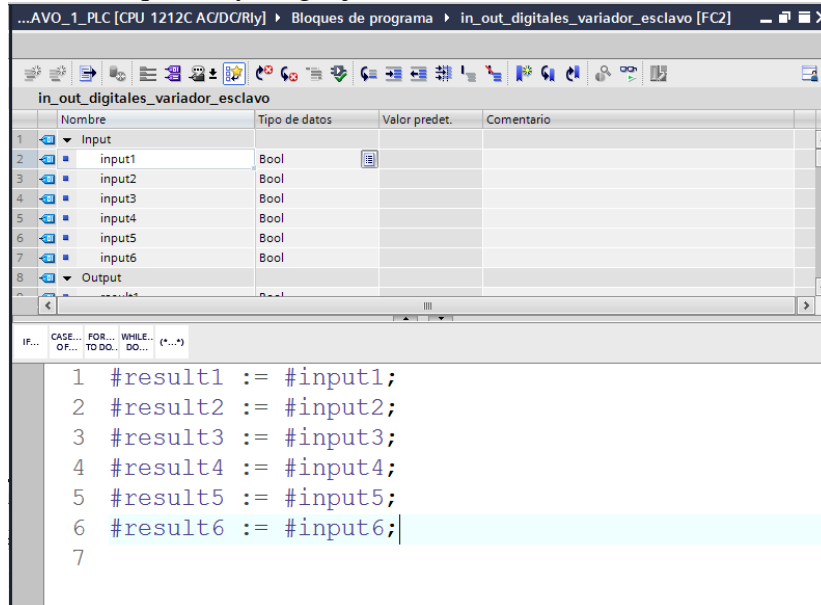
4.2.3.3 *Transferencia de datos del SINAMICS G110.* Para el variador se configuró las siguientes áreas de transferencia descritas en la siguiente tabla conforme a como se visualiza en la figura 30. Para este caso de igual forma se ocupó un bloque de programación FUNCION FC con lenguaje SCL.

Tabla 4. Áreas de transferencia del variador

Área de transferencia	Direcciones		
	Maestro	↔	Esclavo
In_out_digitales_variador	I2	←	Q2
In_out_variador_enviar_a_esclavo	Q3	→	I3
Enviar_contadores_variador_a_maestro	I5...10	←	Q5...10
Enviar_salidas_analógicas_al_esclavo	Q16...19	→	I16...19

Fuente: Albán, Eduardo y Paguay, Néstor

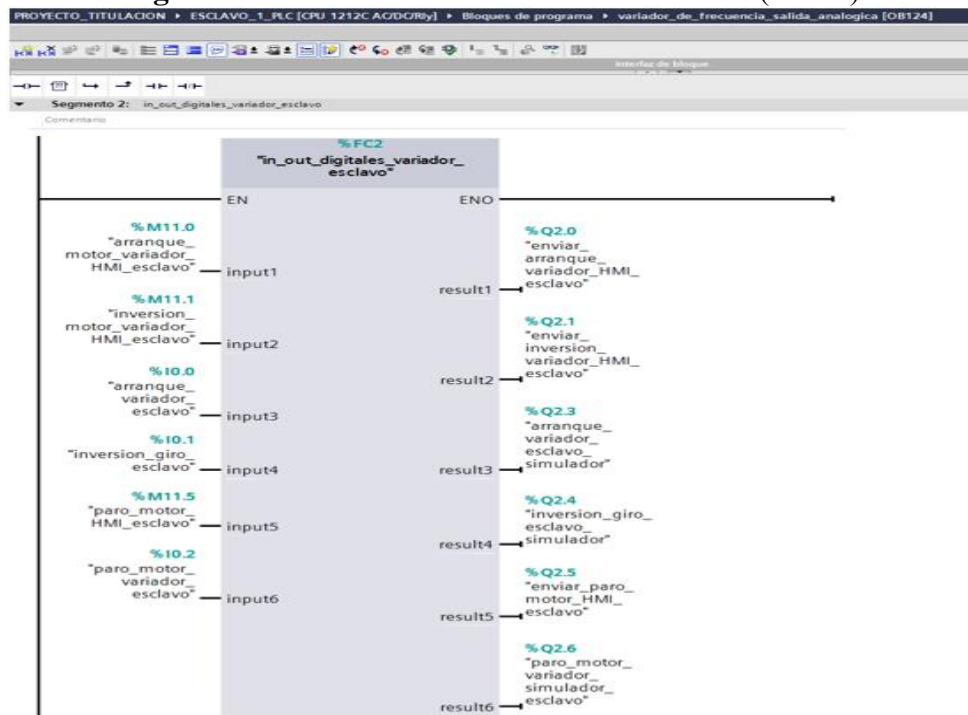
Figura 37. Bloque FC y lenguaje SCL del SINAMICS G110 en el esclavo



Fuente: Albán, Eduardo y Paguay, Néstor

Una vez creada el FC2 se la llamo al bloque de programación variador_de_frecuencia OB124 para realizar la programación en KOP de las salidas digitales obtenidas del PLC, ingresando las variables en las input y result de la FC2 como muestra la figura 38. Se compila y carga lo realizado

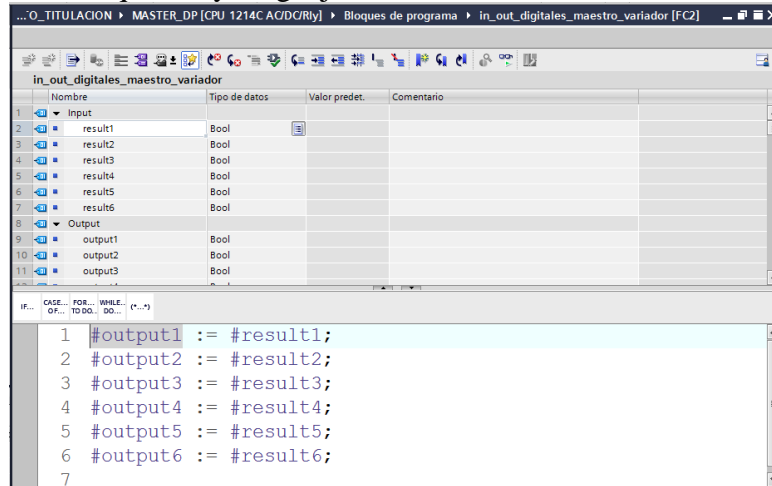
Figura 38. Envío de datos del SINAMICS G110 (E→M)



Fuente: Albán, Eduardo y Paguay, Néstor

De igual manera en el maestro se creó un FC con lenguaje SCL para crear un bloque con una entrada para la recepción de datos enviadas del maestro y una salida para ocupar en el esclavo.

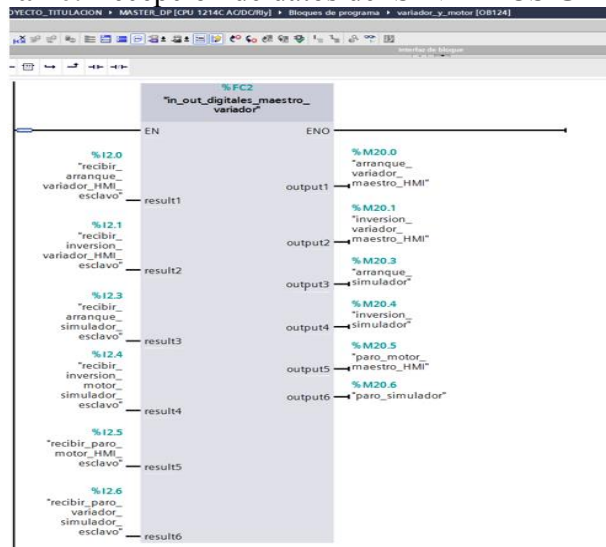
Figura 39. Bloque FC y lenguaje SCL del SINAMICS G110 en el maestro



Fuente: Albán, Eduardo y Paguay, Néstor

Al igual que el escavo se llamó a la FC2 del maestro al bloque variador_y_motor OB124 para realizar la programación en KOP, ubicando en el result y output del FC2 las variables correspondientes como indica la figura 40, para la recepción de datos y utilización de memorias para la respectiva programación. Se compila y carga lo realizado.

Figura 40. Recepción de datos del SINAMICS G110 (E→M)



Fuente: Albán, Eduardo y Paguay, Néstor

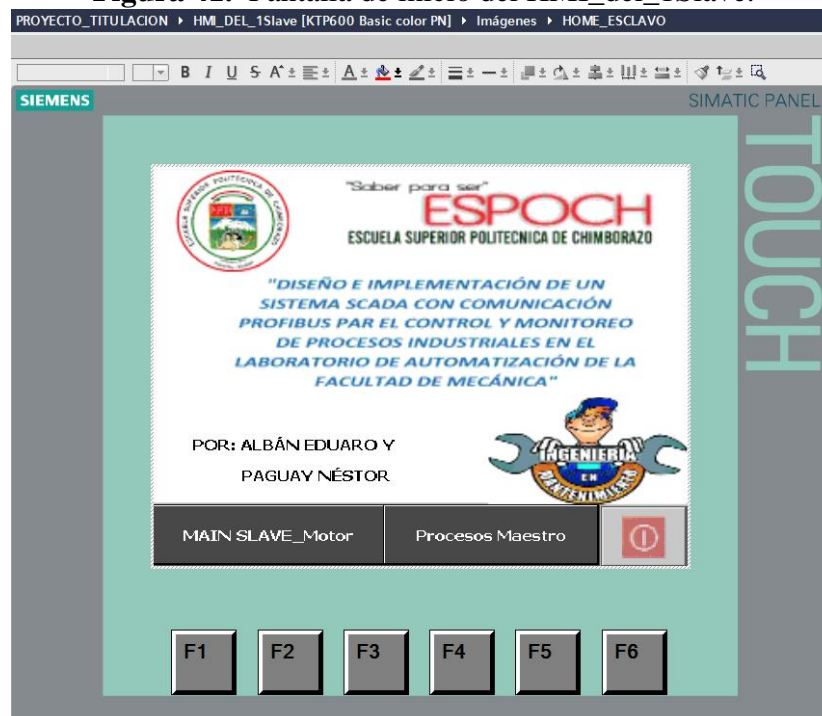
De igual manera se realizó el mismo proceso con las demás áreas de transferencia de la del variador descritas en la tabla 4 tanto para envío de datos del maestro al esclavo y viceversa.

4.3 Configuración y programación de la HMI_del_1Slave.

La dirección de la pantalla KTP 600 PN denominada HMI_del_1Slave en este proyecto ya fue configurada al momento de agregarla a la vista de dispositivos tal como se muestra en la figura 25, con la dirección 192.168.0.5.

Hecho lo anterior se procedió a configurar cada una de las imágenes de la pantalla con el TIA PORTAL, en la imagen raíz denominada HOME_ESCLAVO se colocó dos botones uno con la instrucción de llevar a los procesos del maestro y otro al proceso del esclavo.

Figura 41. Pantalla de inicio del HMI_del_1Slave.



Fuente: Albán, Eduardo y Paguay, Néstor

En la imagen MAIN SLAVE_Motor se colocaron elementos de la barra de herramientas y se configuraron con las memorias declaradas en el PLC con instrucciones de arranque, inversión de giro, paro del motor y sus respectivos contadores.

Figura 42. Pantalla del MAIN_SLAVE



Fuente: Albán, Eduardo y Paguay, Néstor

Mientras que en la imagen de procesos maestro se colocó elementos de la barra de herramientas que permitan visualizar del sensor inductivo con sus respectivos contadores y simulación del proceso. Al final se compila y carga lo realizado

Figura 43. Pantalla del sensor inductivo de Procesos maestro



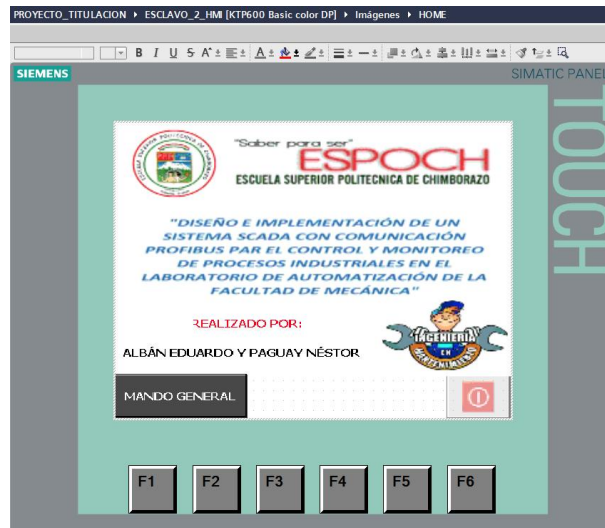
Fuente: Albán, Eduardo y Paguay, Néstor

4.4 SCADA

4.4.1 *Diseño del sistema SCADA en el ESCLAVO_2_HMI.* Al igual que la HMI_del_1Slave se configuró y programó la pantalla en diferentes imágenes a la imagen raíz se la denominó como HOME colocando el nombre de nuestro trabajo de titulación y otras imágenes relacionadas a la ESPOCH y a la Escuela de Ingeniería de Mantenimiento, se introdujo un elemento de la barra de herramientas de tipo pulsador

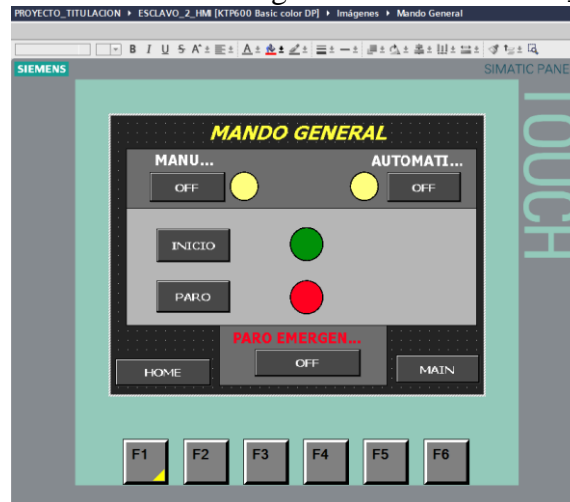
con la instrucción de enviar a una nueva imagen llamada mando general colocando en este de igual manera elementos de la barra de herramientas tipo pulsadores y leds que permitan de igual forma controlar el tablero general.

Figura 44. Pantalla HOME del ESCLAVO_2_HMI



Fuente: Albán, Eduardo y Paguay, Néstor

Figura 45. Pantalla mando general del ESCLAVO_2_HMI



Fuente: Albán, Eduardo y Paguay, Néstor

Se insertó también dos elementos tipo pulsador a los que nombramos HOME y MAIN, el uno nos permite regresar a la imagen principal el segundo nos lleva a una pantalla en donde se ubicó un menú de opciones de cada uno de los procesos dentro de nuestro sistema SCADA como: medición de temperaturas y alarmas, registro de producción, control de motor con variador y la visión general de los procesos.

Figura 46. Pantalla MAIN del ESCLAVO_2_HMI



Fuente: Albán, Eduardo y Paguay, Néstor

En la opción del menú definida como medición de temperatura y alarmas se insertó elementos que nos permitan visualizar la temperatura tanto en forma gráfica con numérica ya sea esta en grados Centígrados o Fahrenheit al igual que elementos que nos permitan visualizar las alarmas de temperatura en forma de leds.

Figura 47. Pantalla medición de temperatura y alarmas del ESCLAVO_2_HMI



Fuente: Albán, Eduardo y Paguay, Néstor

En la pantalla de registro de producción se simuló un proceso de una banda transportadora de productos terminados supervisando la cantidad de productos diarios, productos en caja, cajas completas y cantidad de lotes producidos con la ayuda de elementos y gráficos de la barra de herramientas programados de tal forma que nos de datos reales del proceso.

Figura 48. Pantalla registro de producción del ESCLAVO_2_HMI




Fuente: Albán, Eduardo y Paguay, Néstor

Para la opción de control de motor con variador se usó de igual manera elementos y gráficos de la barra de herramientas que nos permitan realizar la operación del motor, previa introducción de los parámetros de la placa del mismo como voltaje, amperaje, frecuencia y rpm y otros para evitar arranques y paradas bruscas como tiempo de aceleración y deceleración, frecuencias máxima y mínima, al igual que la configuración de la salida analógica mediante terminales en el variador de frecuencia mediante el BOP.

Tabla 5. Bornes del SINAMIGS G110

Borne	Significado	Funciones	
1	DOUT-	Salida digital (-)	
2	DOUT+	Salida digital (+)	
3	DIN0	Entrada digital 0	
4	DIN1	Entrada digital 1	
5	DIN2	Entrada digital 2	
6	-	Salida +24 V / máx. 50 mA	
7	-	Salida 0 V	
	Variante	Analógica	USS
8	-	Salida +10 V	RS485 P+
9	ADC1	Entrada analógica	RS485 N-
10	-	Salida 0 V	



Fuente: Instrucciones de servicio resumidas SINAMIGS G110

Tabla 6. Ejemplo de modificación de parámetros del BOP

Paso		Resultado en pantalla
1	Pulsar P para acceder a parámetros	r 0000
2	Pulsar ▲ hasta que se visualice P0003	P 000 3
3	Pulsar P para acceder al nivel de valor del parámetro	1
4	Pulsar ▲ o ▼ hasta el valor requerido	3
5	Pulsar P para confirmar y guardar el valor	P 000 3
6	El nivel de acceso 3 está ajustado. Se pueden seleccionar todos los parámetros de los niveles 1 a 3.	

Fuente: Instrucciones de servicio resumidas SINAMICS G110

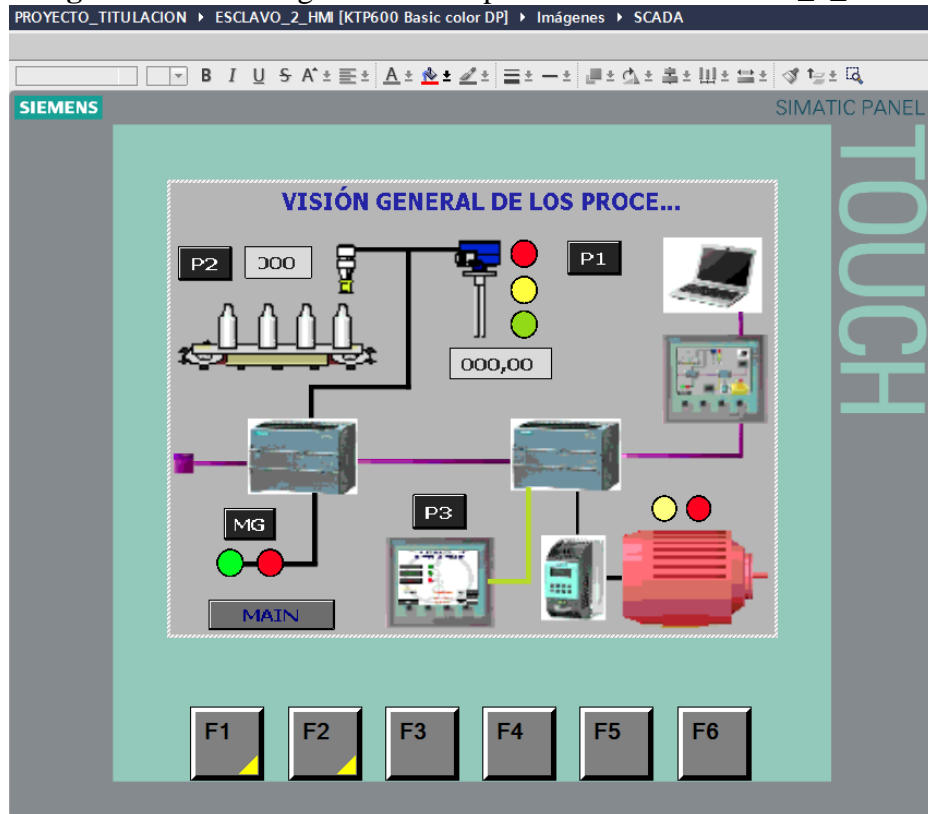
Figura 49. Pantalla de control del motor con variador del ESCLAVO_2_HM



Fuente: Albán, Eduardo y Paguay, Néstor

Para terminar, con la última opción del MAIN a la que se llamó vista general de los procesos se ubicaron elementos e imágenes que permitan supervisar y visualizar cada uno de los procesos dentro del sistema tales como pantallas, equipos, leds de control y pulsadores ubicados de tal forma que le permitan al usuario observar cómo están enlazados los equipos y dispositivos.

Figura 50. Pantalla general de los procesos del ESCLAVO_2_HMI



Fuente: Albán, Eduardo y Paguay, Néstor

Una vez programadas y configuradas cada una de las imágenes o pantallas se procedió a compilar en la KTP 600 DP, para ver si mostraba algún error de programación, se evidenció que no existió ningún error por tanto se realizó el último paso que es reconocer y cargar en el dispositivo.

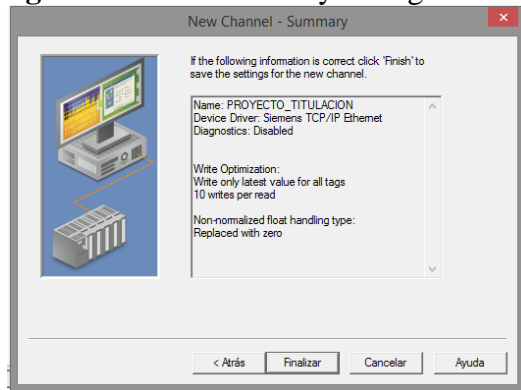
4.4.2 Conexión entre LabVIEW y PLC utilizando NI-OPC

4.4.2.1 *Creación del NI OPC Server.* En esta sección se creará una interfaz entre LabVIEW y el PLC mediante un OPC el cual define el estándar para comunicar datos en tiempo real entre los dispositivos de control del tablero de comunicaciones y las interfaces hombre- máquina, creando variables utilizando direcciones del PLC para ser utilizadas posteriormente en LabVIEW.

Se ingresó a NI OPC Server, se añade un nuevo canal apareciendo una ventana para configurar los siguientes parámetros: primero asignar un nombre, segundo escoger de la pestaña Device driver (Controlador de dispositivo) la opción Siemens TCP/IP, tercero

en Network Adapter (Adaptador de Red) se escoge el adaptador propio de la PC, por ultimo clic en finalizar y se crea el canal

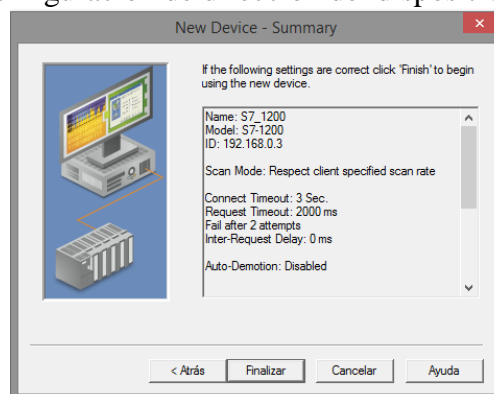
Figura 51. Añadir canal y configurar OPC



Fuente: Albán, Eduardo y Paguay, Néstor

Una vez ya añadido el canal se añadió y configuró el dispositivo PLC con el que se realizó la interfaz, asignando un nombre al dispositivo, en Device model se escoge S7-1200 y finalmente se asigna la dirección IP del dispositivo para que no haya conflictos al momento de utilizar las variables a declararse. En la ventana de configuración del dispositivo aparecieron otros parámetros a los cuales no se les hizo ningún cambio ya que no eran necesarios por lo que se seleccionó la opción de siguiente hasta que apareció la opción de finalizar y se procedió a cargar el dispositivo.

Figura 52. Configuración de dirección del dispositivo en el NI OPC

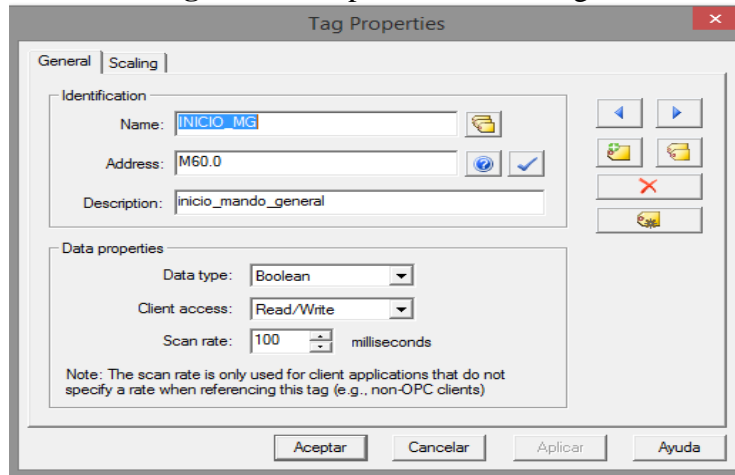


Fuente: Albán, Eduardo y Paguay, Néstor

4.4.2.2 *Creación de memorias de interfaz para comunicación entre LabVIEW y PLC.* Creado y configurado el OPC y el dispositivo se procedió a crear las tag o marcas con las direcciones de control y supervisión de cada uno de los procesos. Para ello se

seleccionó en añadir una tag en la ventana del dispositivo configurando las propiedades de cada una de estas entre ellas el nombre de la tag, la dirección del PLC, el tipo de dato y el tipo de acceso de la variable ya sea de lectura o escritura.

Figura 53. Propiedades de las tag.



Fuente: Albán, Eduardo y Paguay, Néstor

Este paso se realizó para cada una de las tag obteniendo al final la lista completa de todas las tag de lectura y escritura en el NI OPC para posteriormente utilizarlas en LabVIEW.

Figura 54. Listado de marcas en NI OPC

Tag Name	Address	Data Type	Scan Rate	Scaling	Description
ALARMA_18°C_PT100	M5.0	Boolean	100	None	alarma_18_grados_centigrados_proceso_nomal_pt100
ALARMA_36°C_PT100	M5.1	Boolean	100	None	alarma_36_grados_centigrados_avisos_precaucion_pt100
ALARMA_50°C_PT100	M5.2	Boolean	100	None	alarma_50_grados_centigrados_peligro_pt100
ANALÓGICA_PT100	MW70	Word	100	Linear	analogica_pt_100
ARRANQUE_MOTOR_VF	M11.0	Boolean	100	None	arranque_del_motor_con_variador_de_frecuencia
AUTOMÁTICO_MG	M60.3	Boolean	100	None	modo_automático_mando_general
INICIO_MG	M60.0	Boolean	100	None	inicio_mando_general
INVERSION_MOTOR_VF	M11.1	Boolean	100	None	inversion_del_motor_con_variador_de_frecuencia
LED_ARRANQUE_VF	M11.3	Boolean	100	None	señalización_led_arranque_motor_con_variador_de_frecuencia
LED_INICIO_MG	M60.5	Boolean	100	None	señalización_led_inicio_mando_general
LED_INVERSION_VF	M11.4	Boolean	100	None	señalización_led_inversion_motor_con_variador_de_frecuencia
LED_PARO_MG	M60.6	Boolean	100	None	señalización_led_paro_mando_general
LED_PARO_VF	M11.6	Boolean	100	None	señalización_led_paro_motor_con_variador_de_frecuencia
MANUAL_MG	M60.2	Boolean	100	None	modo_manual_mando_general
NUM_ARRANQUES_VF	MW7	Word	100	Linear	visor_numero_arranques_motor_con_variador_de_frecuencia
NUM_CAJAS_COMPLETAS_M18	MW44	Word	100	Linear	visor_numero_cajas_completas_sensor_inductivo_m18
NUM_INVERSIONES_VF	MW12	Word	100	Linear	visor_numero_inversiones_motor_con_variador_de_frecuencia
NUM_LOTES_M18	MW46	Word	100	Linear	visor_numero_lotes_sensor_inductivo_m18
NUM_PAROS_VF	MW18	Word	100	Linear	visor_numero_paros_motor_con_variador_de_frecuencia
NUM_PRODUCTOS_DIARIO_M18	MW38	Word	100	Linear	visor_numero_de_productos_diario_sensor_inductivo_m18
NUM_PRODUCTOS_EN_CAJA_M18	MW16	Word	100	Linear	visor_numero_productos_en_caja_sensor_inductivo_m18
PARO_EMERGENCIA_MG	M60.4	Boolean	100	None	paro_de_emergencia_mando_general
PARO_MG	M60.1	Boolean	100	None	paro_mando_general
PARO_MOTOR_VF	M11.5	Boolean	100	None	paro_de_motor_con_variador_de_frecuencia
REVOLUCIONES	MW99	Word	100	Linear	rpm_vf
SET_ARRANQUES_VF	M0.2	Boolean	100	None	set_arranques_de_motor_con_variador_de_frecuencia
SET_CAJAS_COMPLETAS_M18	M15.5	Boolean	100	None	seteo_cajas_completas_sensor_inductivo_m18
SET_INVERSIONES_VF	M0.3	Boolean	100	None	seteo_inversiones_de_motor_con_variador_de_frecuencia
SET_LOTES_M18	M15.6	Boolean	100	None	seteo_lotes_sensor_inductivo_m18
SET_PARO_VF	M0.4	Boolean	100	None	seteo_paros_de_motor_con_variador_de_frecuencia
SET_PRODUCTOS_DIARIO_M18	M15.7	Boolean	100	None	seteo_productos_diario_sensor_inductivo_m18
SET_PRODUCTOS_EN_CAJA_M18	M15.1	Boolean	100	None	seteo_productos_en_caja_sensor_inductivo_m18

Fuente: Albán, Eduardo y Paguay, Néstor

Una vez creada todas las tag o marcas se procedió a comprobar el estado de las mismas

con la opción OPC Quick Client verificando que ninguna de estas se encuentre en error o bad en la columna quality, una vez comprobado que todas las tag se encontraron en estado good, se procedió a guardar el archivo

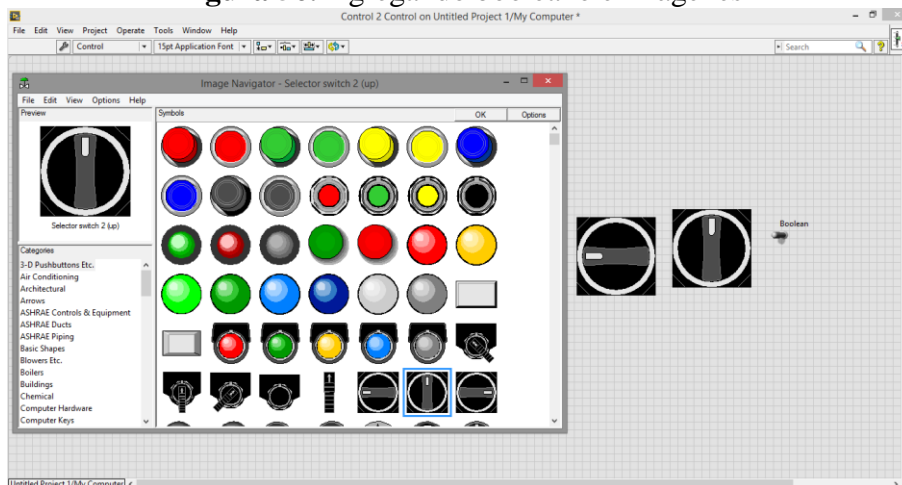
Figura 55. Comprobación en OPC Quick Client

Item ID	Data Type	Value	Timestamp	Quality	Update Count
PROYECTO_TITULACION_S7_1200_Fack	Byte	0	10:51:20.960	Good	1
PROYECTO_TITULACION_S7_1200_Sw	Byte	1	10:51:20.961	Good	1
PROYECTO_TITULACION_S7_1200_ALARMA_18C_FT100	Boolean	0	10:51:20.874	Good	1
PROYECTO_TITULACION_S7_1200_ALARMA_36C_FT100	Boolean	0	10:51:20.874	Good	1
PROYECTO_TITULACION_S7_1200_ALARMA_56C_FT100	Boolean	0	10:51:20.874	Good	1
PROYECTO_TITULACION_S7_1200_ARRANQUE_MOTOR_VF	Boolean	0	10:51:20.874	Good	1
PROYECTO_TITULACION_S7_1200_AUTOMATICO_MG	Boolean	0	10:51:20.874	Good	1
PROYECTO_TITULACION_S7_1200_CENTIGRADOS_FT100	Double	1.10155E+009	10:51:20.874	Good	1
PROYECTO_TITULACION_S7_1200_FABRISHSET_FT100	Double	1.11645E+009	10:51:20.874	Good	1
PROYECTO_TITULACION_S7_1200_INICIO_MG	Boolean	0	10:51:20.874	Good	1
PROYECTO_TITULACION_S7_1200_INVERSION_MOTOR_VF	Boolean	0	10:51:20.874	Good	1
PROYECTO_TITULACION_S7_1200_LED_ARRANQUE_VF	Boolean	0	10:51:20.874	Good	1
PROYECTO_TITULACION_S7_1200_LED_INICIO_MG	Boolean	0	10:51:20.874	Good	1
PROYECTO_TITULACION_S7_1200_LED_INVERSION_VF	Boolean	0	10:51:20.874	Good	1
PROYECTO_TITULACION_S7_1200_LED_PARO_MG	Boolean	0	10:51:20.874	Good	1
PROYECTO_TITULACION_S7_1200_LED_PARO_VF	Boolean	0	10:51:20.874	Good	1
PROYECTO_TITULACION_S7_1200_MANGUAL_MG	Boolean	0	10:51:20.874	Good	1
PROYECTO_TITULACION_S7_1200_NUM_ARRANQUES_VF	Double	14	10:51:20.874	Good	1
PROYECTO_TITULACION_S7_1200_NUM_CAJAS_COMPLETAS_M18	Double	0	10:51:20.874	Good	1
PROYECTO_TITULACION_S7_1200_NUM_INVERSIONES_VF	Double	7	10:51:20.874	Good	1
PROYECTO_TITULACION_S7_1200_NUM_LOTES_M18	Double	0	10:51:20.874	Good	1
PROYECTO_TITULACION_S7_1200_NUM_PAROS_VF	Double	7	10:51:20.874	Good	1
PROYECTO_TITULACION_S7_1200_NUM_PRODUCTOS_DAFRO_M18	Double	0	10:51:20.874	Good	1
PROYECTO_TITULACION_S7_1200_NUM_PRODUCTOS_EN_CAJA_M18	Double	0	10:51:20.874	Good	1
PROYECTO_TITULACION_S7_1200_PARO_EMERGENCIA_MG	Boolean	0	10:51:20.874	Good	1
PROYECTO_TITULACION_S7_1200_PARO_MG	Boolean	0	10:51:20.874	Good	1
PROYECTO_TITULACION_S7_1200_PARO_MOTOR_VF	Boolean	0	10:51:20.874	Good	1
PROYECTO_TITULACION_S7_1200_prueba	Double	0	10:51:20.874	Good	1
PROYECTO_TITULACION_S7_1200_RPM_VF	Double	0	10:51:20.874	Good	1
PROYECTO_TITULACION_S7_1200_SET_ARRANQUES_VF	Boolean	0	10:51:20.874	Good	1
PROYECTO_TITULACION_S7_1200_SET_CAJAS_COMPLETAS_M18	Boolean	0	10:51:20.874	Good	1
PROYECTO_TITULACION_S7_1200_SET_INVERSIONES_VF	Boolean	0	10:51:20.874	Good	1
PROYECTO_TITULACION_S7_1200_SET_LOTES_M18	Boolean	0	10:51:20.874	Good	1
PROYECTO_TITULACION_S7_1200_SET_PARO_VF	Boolean	0	10:51:20.874	Good	1
PROYECTO_TITULACION_S7_1200_SET_PRODUCTOS_DAFRO_M18	Boolean	0	10:51:20.874	Good	1
PROYECTO_TITULACION_S7_1200.SET_PRODUCTOS_EN_CAJA_M18	Boolean	0	10:51:20.874	Good	1

Figura: Albán, Eduardo y Paguay, Néstor

4.4.2.3 *Creación y diseño de controles en DSC.* Se inició LabVIEW y se creó un proyecto en blanco en este se abrió la opción my computer al lado izquierdo de la pantalla agregando en este, switch y led booleanos, indicadores y controles numéricos para usar sus características por ejemplo en el caso de los booleanos sus dos estados (true/false).

Figura 56. Agregando booleano e imágenes



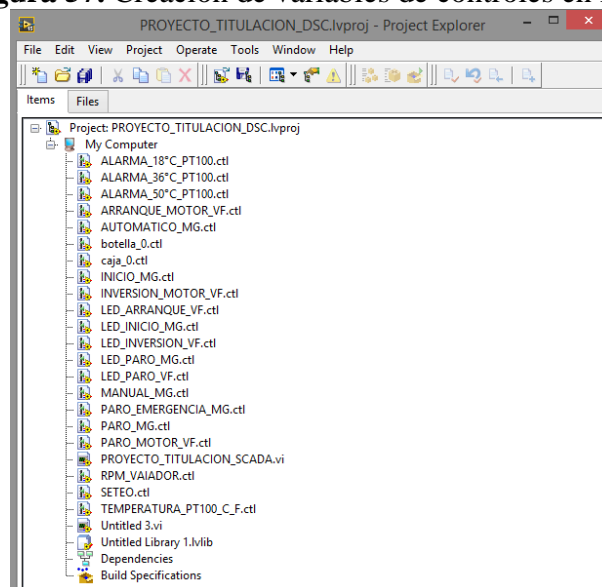
Fuente: Albán, Eduardo y Paguay, Néstor

Una vez agregados las imágenes y los controles numéricos o booleano, cambiamos al

modo de personalización (Change to Customize Mode), aquí se eligió la primera imagen que deseamos tener en el primer estado, en el caso del booleano dando click derecho sobre la imagen se seleccionó Copy to Click Board, luego se dió click derecho sobre el control booleano y se escogió la opción que dice Import Picture From Clipboard, luego se fue a la opción de salir del modo de edición (Change to Edit Mode), se dió click sobre el booleano para que se vaya a su otra posición, una vez más se ingresó al modo de edición y realizamos los mismos pasos con la otra imagen. Posteriormente borramos las imágenes y dejamos el booleano ya editado, finalmente guardamos el archivo creado con un nombre determinado, lo mismo se realizó para los demás controles.

Cuando se guarda el primer control se crea un archivo tipo .ctl en el proyecto, de igual manera con los demás controles que fueron necesarios crear y configurar se van guardando en el mismo proyecto, como se aprecia en la figura 57.

Figura 57. Creación de variables de controles en DSC



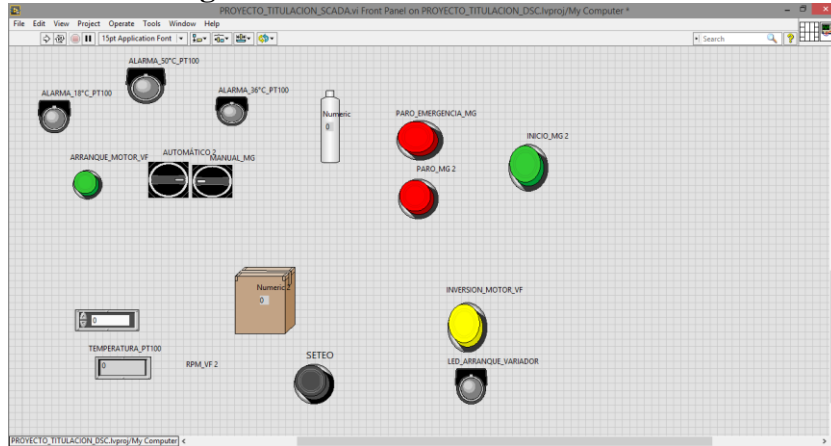
Fuente: Albán, Eduardo y Paguay, Néstor

Dentro del mismo proyecto se creó un VI con el nombre PROYECTO_TITULACION_SCADA, en el que se va a realizar el diseño de los procesos y la simulación de los mismos con la ayuda de los controles creados y diseñados con el DSC para una mejor interfaz visual.

4.4.3 *Diseño del sistema SCADA en LabVIEW.* En el VI creado en LabVIEW con el

nombre PROYECTO_TITULACION_ SCADA, en la pantalla Front Panel se seleccionó y arrastró los controles creados desde la lista que muestra la figura 57.

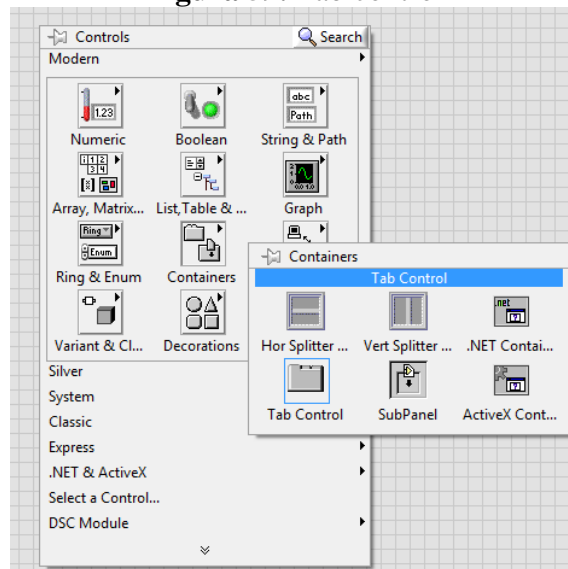
Figura 58. Controles añadidos en el VI



Fuente: Albán, Eduardo y Paguay, Néstor

Una vez añadidos los controles desde el DSC en el VI, se procedió a ingresar un Tab Control el cual posee la característica que se necesitó para mostrar los procesos.

Figura 59. Tab control

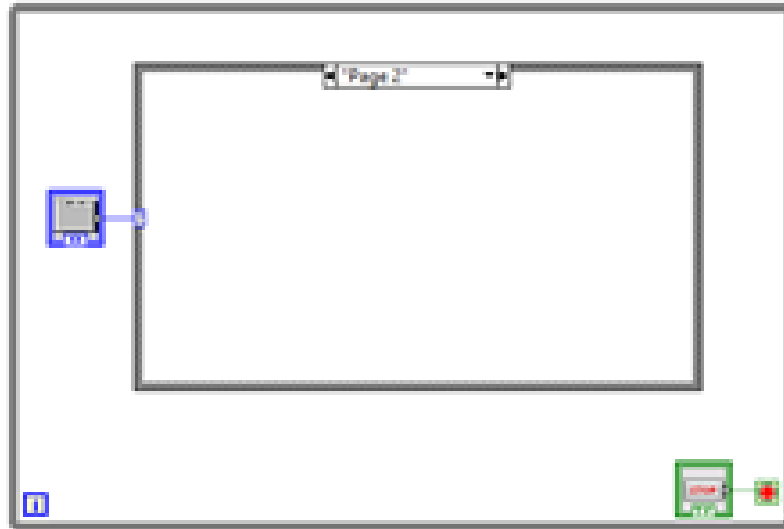


Fuente: Albán, Eduardo y Paguay, Néstor

4.4.3.1 *Programación en Block Diagram del VI.* En la pantalla Block Diagram del VI se agregó dos funciones una Case Structure para tener dos su diagramas en el mismo VI la Tab control conectada al Case Structure determina cuál de las dos pestañas se ejecuta. y una While Loop para ejecutar continuamente el VI y se detenga con un

control llamado stop.

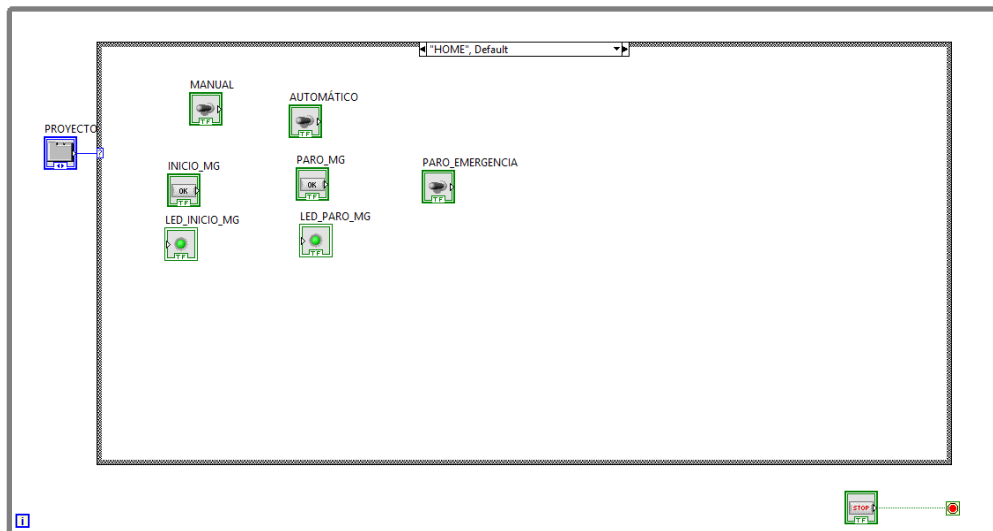
Figura 60. Case Structure, While Loop y Tab Control en Block Diagram



Fuente: Albán, Eduardo y Paguay, Néstor

Después se agregó los controles para el mando general dentro del Case 1 al que se le llamó HOME.

Figura 61. Mando general en Block Diagram.

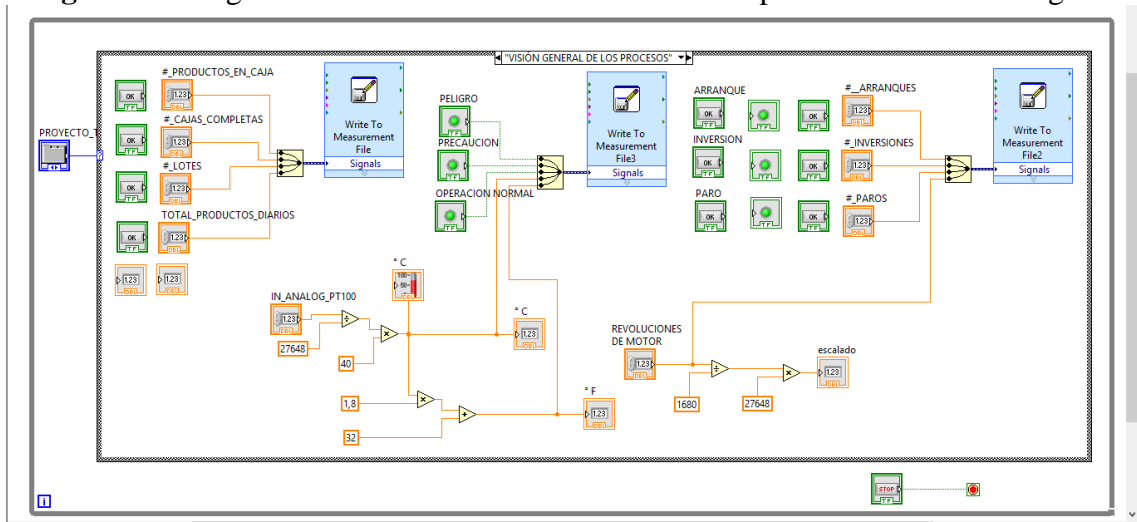


Fuente: Albán, Eduardo y Paguay, Néstor

En la segunda pantalla del case a la que se llamó visión general de los procesos se agregó los controles e indicadores para cada uno de los procesos, además en el proceso de control de temperatura se adquirió la lectura analógica de PT100 para poder

normalizar mediante operaciones matemáticas y obtener así los datos respectivos ya sea en grados centígrados o Fahrenheit, en un caso similar con las rpm del proceso control del motor con variador se envió una señal analógica tipo MW para obtener un control de las rpm mediante LabVIEW.

Figura 62. Asignación de controles e indicadores de los procesos en Block Diagram

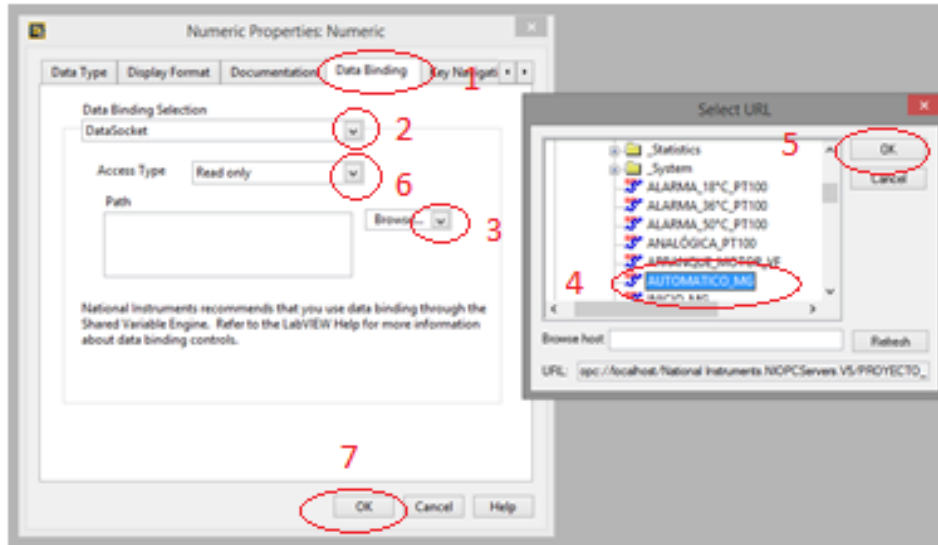


Fuente: Albán, Eduardo y Paguay, Néstor

4.4.3.2 *Programación en el Front Panel del VI.* Una vez realizado la programación en el Block Diagram se procedió a realizar las respectivas comunicaciones de los controles arrastrados desde el DSC con el servidor OPC, colocando en la pestaña 1 denominada HOME el correspondiente tema de titulación y sellos de la Facultad de Mecánica, Escuela de Ingeniería de Mantenimiento y la ESPOCH, en la parte inferior de la misma pantalla se ubicó los controles del mando general con sus respectivos indicadores tipo led.

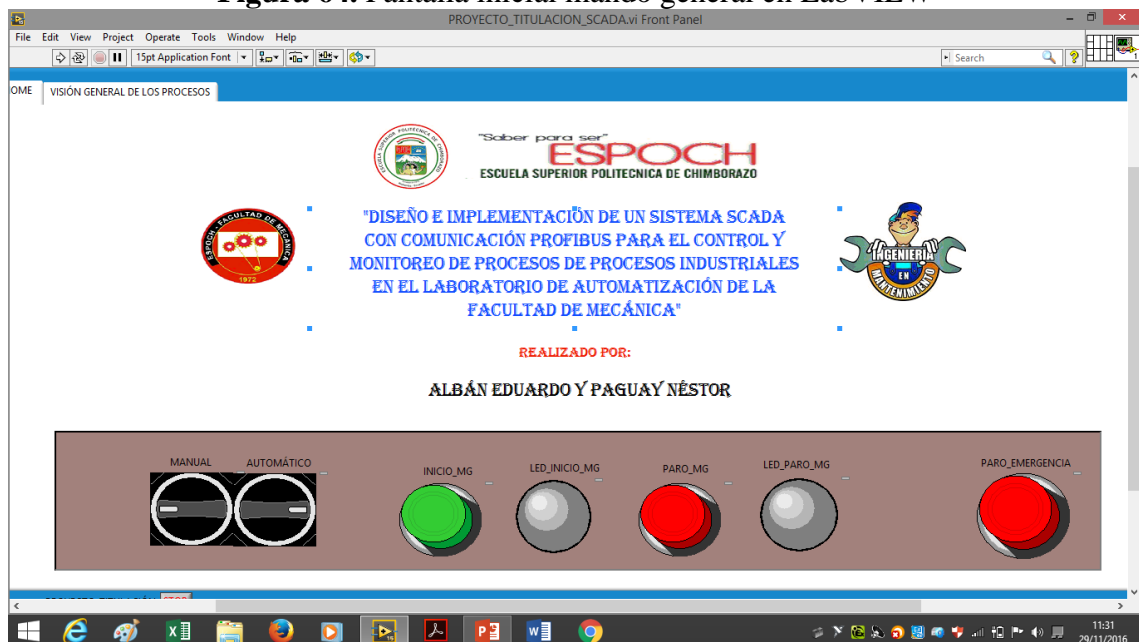
Para realizar la comunicación con el servidor, para el mando general se realiza el siguiente proceso; se da click derecho sobre el control, se elige propiedades, se abre Data Binding, en la primera pestaña desplegable denominada Data Binding Selection se selecciona DataSocket luego hacemos click en Browse y buscamos en DSTP Server la siguiente ubicación National_Instruments.NIOPCServers.V5_PROYECTO_TITULACION_S7_1200, aquí se buscó la tag que se creó en el OPC, se da OK y antes de finalizar en Acces Type se define si es de lectura o escritura(Read only-Write only).

Figura 63. Comunicación control DSC y tag OPC



Fuente: Albán, Eduardo y Paguay, Néstor

Figura 64. Pantalla inicial mando general en LabVIEW



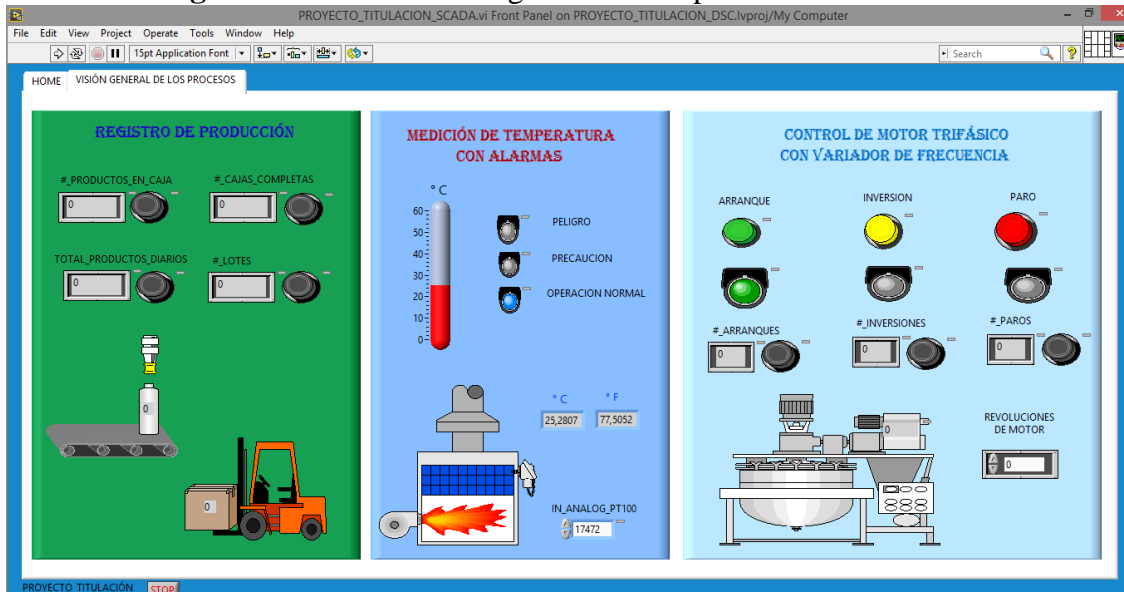
Fuente: Albán, Eduardo y Paguay, Néstor

En la segunda pestaña del Tab Control se procedió a realizar las respectivas comunicaciones de los controles arrastrados desde el DSC con el servidor OPC, que fueron utilizados para los procesos de registro de producción, medición de temperatura con alarmas y control de motor trifásico con variador de frecuencia.

Para realizar la comunicación con el servidor, para cada control de los procesos se

realizó el mismo procedimiento que se aplicó en la pestaña anterior denominada home

Figura 65. Pantalla visión general de los procesos en LabVIEW



Fuente: Albán, Eduardo y Paguay, Néstor

CAPÍTULO V

5. PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA SCADA

5.1 Prueba del SCADA con comunicación Profibus en la HMI implementada.

Desarrollada la respectiva programación en los dispositivos y la configuración del sistema en la HMI KTP 600 DP, se procedió a realizar las respectivas pruebas de funcionamiento evaluando el rendimiento del sistema mediante la operación óptima de sus controles y adquisición de datos en tiempo real mediante la simulación de cada uno de los procesos.

Se realizaron las pruebas de funcionamiento del mando general tanto en el módulo como en la HMI, se verificó que había el enlace correcto ya que si se activaban los mandos del tablero igualmente en la HMI y viceversa.

Figura 66. Prueba Control tablero y HMI



Fuente: Albán, Eduardo y Paguay, Néstor

En el caso del sensor inductivo M18, se simuló el proceso de un registro de producción

de productos terminados con visualización de cantidad de productos diarios, cantidad de cajas llenas y número de lotes, cada uno con la opción de poder ser reseteados y volver a iniciar en cero.

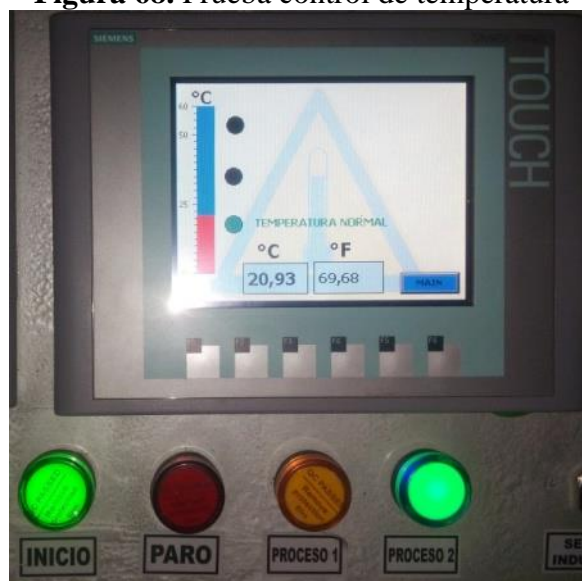
Figura 67. Prueba controles e indicadores del registro de producción con el sensor inductivo.



Fuente: Albán, Eduardo y Paguay, Néstor

De igual manera con el sensor de temperatura PT100 se obtuvo datos en tiempo real ya sea en grados centígrados o Fahrenheit con alarmas de temperatura y mensajes de advertencia a distintos niveles.

Figura 68. Prueba control de temperatura



Fuente: Albán, Eduardo y Paguay, Néstor

En el control del motor con el variador SIMATIC G110 se pudo arrancar el motor, realizar la inversión de giro y controlar las rpm de 0 a 1680 tal como permite la placa del motor, al ingresar una cantidad superior a las rpm permitidas el motor por seguridad procedió a detenerse.

Figura 69. Prueba controles e indicadores del control del motor con variador



Fuente: Albán, Eduardo y Paguay, Néstor

La supervisión y control de todos los procesos se pudo observar en la pantalla de visión general de los procesos en la HMI, verificando en éstos los parámetros y condiciones de funcionamiento de cada uno de ellos y los dispositivos que los controlan.

5.2 Prueba de comunicación del SCADA en LabVIEW con la HMI

Se realizó la operación de los controles tablero desde el SCADA realizado en LabVIEW, evidenciándose la correcta comunicación tanto con la HMI y los controles físicos del tablero.

Figura 70. Prueba mando general en LabVIEW.



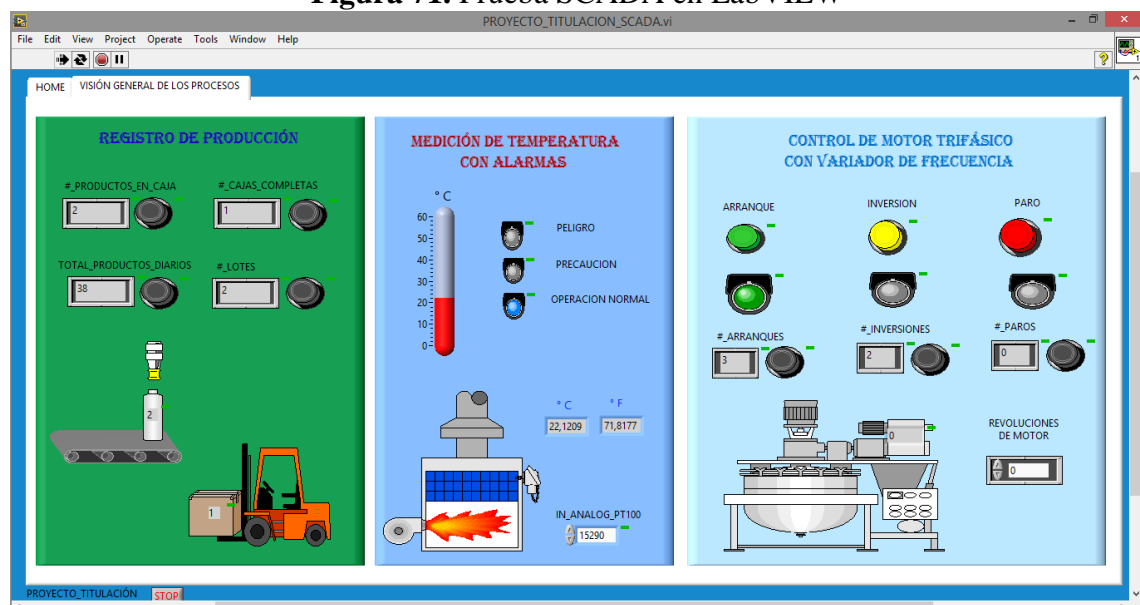
Fuente: Albán, Eduardo y Paguay, Néstor

De igual manera se realizó la prueba de funcionamiento con los controles de cada uno de los procesos, en el caso del registro de producción se le hizo actuar al sensor inductivo M18 evidenciándose mediante indicadores en LabVIEW y la HMI el control de los productos terminados y empacados pudiendo resetearlos de igual manera pero obteniendo un registro más personalizado en LabVIEW.

Con el control de la temperatura se realizó la misma prueba se calentó la PT100 a ciertos valores obteniendo la visualización de cada una de las alarmas asignadas tanto HMI para el usuario u operario, como en LabVIEW para un control y supervisión más administrativo.

Por último, se comprobó el funcionamiento del variador SIMATIC G110 para el control del motor con sus respectivos parámetros, se arrancó el motor desde el control en LabVIEW visualizándose la misma operación en la HMI, de igual manera con la inversión de giro, además se logró modificar las rpm desde el mismo Software evidenciándose la reducción o aumento de revoluciones en el motor, comprobándose así la comunicación del LabVIEW con la HMI.

Figura 71. Prueba SCADA en LabVIEW



Fuente: Albán, Eduardo y Paguay, Néstor.

CAPÍTULO VI

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 Conclusiones.

Se diseñó e implementó un sistema SCADA con comunicación Profibus con dispositivos Siemens los cuales cumplen con las expectativas de funcionamiento deseadas.

Se describió la mayoría de módulos didácticos presentes en el Laboratorio de Automatización, analizando las CPU-CM-HMI(en caso de tenerlos) y la posibilidad de comunicación con el estándar Profibus DP/RS485, llegando a definir que el módulo denominado TABLERO DE REDES INDUSTRIALES será el utilizado para el proyecto.

Se implementó una HMI KTP 600 DP como parte del rediseño del módulo para el diseño del SCADA con comunicación Profibus.

Se ocupó STEP 7 TIA PORTAL V13 para añadir los dispositivos, configurar sus direcciones, asignar las áreas de transferencia y crear la red MAESTRO ESCLAVO PROFIBUS DP. Además en los PLC se programó la simulación de tres procesos diferentes visibles en el ESCLAVO_2_HMI (dos de ellos también visibles en la HMI_1Slave). También se comunicó los dispositivos con la programación y configuración del SCADA desarrollado en LabVIEW.

Se realizaron las pruebas de funcionamiento de cada elemento del módulo y del sistema SCADA satisfactoriamente, obteniendo resultados visuales reales de cada uno de los procesos simulados tales como el registro de producción, control de temperatura y control del motor trifásico con variador.

6.2 Recomendaciones.

Al añadir los dispositivos con el TIA PORTAL hay que asegurarse de que la versión del firmware del dispositivo físico concuerda con el añadido.

Asignar direcciones en forma ascendente empezando con la dirección 1 para el MAESTRO para evitar conflictos al momento de crear la subred Profibus y cargar la programación.

Para utilizar las áreas de transferencia verificar el sentido envío de información (M→E, M←E), el tipo de dato a enviar y evitar repetir las áreas de transferencia para no tener problemas de comunicación.

A medida que se programa asignar un nombre específico a cada entrada, salida, memoria, funciones, segmentos y bloques utilizados en TIA PORTAL para facilitar su uso al momento de usarlos.

Tanto con las marcas creadas en un canal de NI OPC y los controles configurados en LabVIEW, no olvidar que se debe definir un estado de lectura o escritura para que cumplan su respectiva función.

Utilizar un sólo mando general, debido a que existe uno físico en el tablero, otro en la ESCLAVO_2_HMI y otro en el SCADA en Labview, para esto ayudarse de la señalización descrita en la pantalla MANDO GENERAL.

BIBLIOGRAFÍA.

ALONSO, Nuria Olivia. *Redes de Comunicaciones Industriales.* [En línea] Madrid : UNED, 2013.s.n.. 978-84-362-6549-1. [Citado el: 09de 09de 2016.]. Disponible en: <https://books.google.com.ec/books?id=4TKJ9IpMSJEC&printsec=frontcover&hl=es#v=onepage&q&f=false>

CORRALES, Luis. *INTERFACES DE COMUNICACION INDUSTRIAL* [En línea]. Quito : Escuela Politecnica Nacional, 2007. . [Citado el: 10 de 09de 2016.]. Disponible en: <http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/10020/1/PARTE%201.pdf>

DIEZ BARRERO, Domingo. *PROFIBUS, Process Field Bus* [En línea]. Universidad de Huelva. 2008. [Citado el: 18 de 07 de 2016.]. Disponible en:http://uhu.es/antonio.barragan/descargas/aai/Profibus_Domingo_Diez_Barrero.pdf.

GRAVITO VASQUEZ, Morgan. *Redes industriales.* [En línea] . Valencia. Universidad Politecnica de Valencia, 2009. [Citado el: 16 de 07 de 2016.]. Disponible en: <https://es.scribd.com/doc/14809760/REDES-INDUSTRIALES>.

HURTADO TORRES , José María. *Tutorial redes PROFIBUS DP* [En línea].Linares. Info PLC, 2010. [Citado el: 18 de 07 de 2016.] Disponible en: http://www.infopl.net/files/descargas/siemens/infoPLC_net_tutorial-redes-Profibus-dp.pdf.

HURTADO TORRES, José María. *Introducción a las Redes de Comunicación Industrial* [En línea] . Linares. Info PLC,2012. [Citado el: 16 de 07 de 2016.]. Disponible en: http://www.infopl.net/files/documentacion/comunicaciones/infoPLC_net_introduccion3b3n-a-las-redes-de-comunicacion3b3n-industrial.pdf.

GONZÁLEZ, Luis Adrián & LEMA, Alex Patricio, DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN BANCO DE PRUEBA DE REDES INDUSTRIALES DE TIPO PROFINET, PROFIBUS, MEDIANTE UN SISTEMA DE COMUNICACIÓN ETHERNET INDUSTRIAL PARA LA FACULTAD DE MECÁNICA. Riobamba. ESPOCH, 2016. [Citado el: 3 de 10 de 2016.]

MOLINA MARTINEZ, José Miguel & JIMÉNEZ BUENDIA, Manuel. *Programacion Grafica para Ingenieros.* 1. Barcelona : MARCOMBO, 2010. ISBN-13: 978-84-267-1676-7. [Citado el: 18 de 10 de 2016.] Disponible en: <http://www.marcombo.com/descargas.php?path=Descargas/9788426716767-%20Programaci%F3n%20Gr%E0fica%20para%20Ingenieros>

NATIONAL INSTRUMENTS. *LabVIEW* [En línea] [Citado el: 10 de 10 de 2016.]. Disponinle en: <http://www.ni.com/labview/labviewdsc/esa/>.

PROFIBUS INTERNACIONAL. *Esclavos PROFIBUS DP* [En línea] .España. [Citado el: 18 de 07 de 2016.] . Disponible en: [file:///C:/Users/User/Downloads/Esclavos_PROFIBUS%20\(2\).pdf](file:///C:/Users/User/Downloads/Esclavos_PROFIBUS%20(2).pdf).

ROSADO MUÑOZ, Alfredo. *SISTEMAS INDUSTRIALES DISTRIBUIDOS: Una filosofía de Automatización.* [En línea] 2009. [Citado el: 10 de 08 de 2016.] . Disponible en: <http://www.uv.es/rosado/courses/sid/sid.html>.

SALAZAR SERNA , César Augusto & CORREA ORTIZ, Luis Carlos. "Buses de campo y protocolos en redes industriales". *Revista Universidad de Manizales.* [En línea] . Manizales-Colombia.2011, pp. 83-109. [Citado el: 18 de 07 de 2016.]. Disponible en: <http://revistasum.umanizales.edu.co/ojs/index.php/ventanainformatica/article/viewFile/126/184>.

SIEMENS. *Mall Industry Siemens.* [En línea] 09 de 01 de 2014. [Citado el: 15 de 08 de 2016.]. Disponible en: https://mall.industry.siemens.com/tedservices/DatasheetService/DatasheetService?control=%3C%3Fxml+version%3D%221.0%22+encoding%3D%22UTF-8%22%3F%3E%3Cpdf_generator_control%3E%3Cmode%3EPDF%3C%2Fmode%3E%3Cpdmsystem%3EPMD%3C%2Fpdmsystem%3E%3Ctemplate_selectio

SIEMENS. *Support Industry Siemens.* [En línea] [Citado el: 11 de 08 de 2016.]. Disponible en: <https://support.industry.siemens.com/cs/products/6av6647-0ac11-3ax0/simatic-hmi-ktp600-basic-color-dp?ps=50&pid=326210&ntp=Manual&ml=es&mlfb=6AV6647-0AC11-3AX0&mf=ps&lc=es-WW>.

SIEMENS. *PLC S7-1200.* [En línea] 05 de 2012. [Citado el: 01 de 08 de 2016.]. Disponible en: <https://support.industry.siemens.com/cs/document/36932465/simatic-s7-controlador-programable-s7-1200?dti=0&lc=es-WW>.

SIEMENS. *Modulo de comunicación CM1243-5.* [En línea] 09 de 2011. [Citado el: 15 de 08 de 2016.]. Disponible en: <https://support.industry.siemens.com/cs/products/6gk7243-5dx30-0xe0/módulo-de-comunic-cm-1243-5?ps=50&pid=380873&ntp=Manual&ml=es&mlfb=6GK7243-5DX30-0XE0&mf=ps&lc=es-WW>.

ANEXOS