

**CRITERIOS DE AUTOMATIZACION EN CONTROL DISTRIBUIDO APLICADO A
PROCESOS INDUSTRIALES: CASO DE ESTUDIO PLANTA DE TANQUES
INTERACTUANTES**



**JULIAN ALEXIS ARANA
FRANCISCO DAVID MUÑOZ**

**UNIVERSIDAD DEL CAUCA
FACULTAD DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES
DEPARTAMENTO DE ELECTRONICA, INSTRUMENTACION Y CONTROL
INGENIERÍA EN AUTOMÁTICA INDUSTRIAL
POPAYÁN, 2010**

**CRITERIOS DE AUTOMATIZACION EN CONTROL DISTRIBUIDO APLICADO A
PROCESOS INDUSTRIALES: CASO DE ESTUDIO PLANTA DE TANQUES
INTERACTUANTES**



JULIAN ALEXIS ARANA

FRANCISCO DAVID MUÑOZ

**Monografía presentada como requisito parcial para optar por el título de
Ingenieros en Automática Industrial**

Director

I.E. JUAN FERNANDO FLOREZ

**UNIVERSIDAD DEL CAUCA
FACULTAD DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES
DEPARTAMENTO DE ELECTRONICA, INSTRUMENTACION Y CONTROL
INGENIERÍA EN AUTOMÁTICA INDUSTRIAL
POPAYÁN, 2010**

Nota de aceptación

Director _____

Elena Muñoz España

Jurado _____

Elena Muñoz España

Jurado _____

Mariela Muñoz

Fecha de sustentación: Popayán, Enero, 29 de 2010

Agradecimientos

Para alcanzar un sueño es indispensable creer en él, hoy al culminar esta etapa de la vida, queremos manifestar nuestra más sincera gratitud a todos aquellos que soñaron con nosotros y nos apoyaron incondicionalmente:

A dios por darnos la vida, iluminar nuestro camino y guiarnos con sabiduría.

A nuestros padres y familiares, por su apoyo permanente y constante motivación.

A nuestros amigos por sus oportunos consejos para culminar satisfactoriamente nuestra formación académica.

Al ingeniero Juan Fernando Flórez, por su amistad, confianza y valiosa colaboración en el desarrollo de este proyecto, especialmente en el fortalecimiento de los laboratorios del programa de ingeniería en automática industrial (PIAI).

A todos los ingenieros y administrativos de la facultad de ingeniería electrónica y telecomunicaciones (FIET) de la Universidad del Cauca, por entregar sus conocimientos en beneficio de la comunidad estudiantil con miras al desarrollo social.

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCION.....	9
1 CRITERIOS DE AUTOMATIZACION EN CONTROL DISTRIBUIDO PARA SU APLICACIÓN EN PROCESOS INDUSTRIALES	4
1.1. REQUERIMIENTOS DEL PROYECTO.....	4
1.2. LEVANTAMIENTO DE INFORMACION.....	6
1.2.1. IDENTIFICACIÓN DEL ÁREA DE APLICACIÓN	6
1.2.2. IDENTIFICACIÓN DE LOS PROCESOS DENTRO DE LAS INSTALACIONES	7
1.2.3. IDENTIFICACIÓN DE LA INSTRUMENTACIÓN DE CADA PROCESO EN LAS INSTALACIONES.....	7
1.2.4. IDENTIFICACIÓN DE LAS REDES EXISTENTES	9
1.3. CRITERIOS DE AUTOMATIZACION EN CONTROL DISTRIBUIDO	9
1.3.1. MAPA CONCEPTUAL.....	11
1.3.2. VALORACIÓN DE LA ESTRUCTURA ENCONTRADA RESPECTO A LOS SISTEMAS DE CONTROL DISTRIBUIDO.....	13
1.3.3. SOLUCIONES Y EQUIPOS PARA CONTROL DISTRIBUIDO.....	18
1.3.4. TECNOLOGÍAS EN CONTROL DISTRIBUIDO.....	32
2. APLICACIÓN DE CRITERIOS DE AUTOMATIZACION EN CONTROL DISTRIBUIDO A UN CASO DE ESTUDIO: LA PLANTA DE TANQUES INTERACTUANTES.....	36
2.1. REQUERIMIENTOS DEL PROYECTO.....	36
2.2. LEVANTAMIENTO DE INFORMACION.....	38
2.2.1. IDENTIFICACIÓN DEL ÁREA DE APLICACIÓN	38
2.2.2. IDENTIFICACIÓN DE LOS PROCESOS DENTRO DE LAS INSTALACIONES	39
2.2.3. IDENTIFICACIÓN DE LA INSTRUMENTACION DE CADA PROCESO EN LAS INSTALACIONES.....	41
2.2.4. IDENTIFICACIÓN DE LAS REDES EXISTENTES	42
2.3. CRITERIOS DE AUTOMATIZACION EN CONTROL DISTRIBUIDO	45
2.3.1. VALORACIÓN DE LA ESTRUCTURA ENCONTRADA RESPECTO A LOS SISTEMAS DE CONTROL DISTRIBUIDO.....	46

2.3.2. SOLUCIONES Y EQUIPOS PARA CONTROL DISTRIBUIDO.....	49
2.3.3. TECNOLOGÍAS EN CONTROL DISTRIBUIDO.....	55
3. DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN NODO DEVICENET	63
3.1 Características del nodo analógico	63
3.2. Descripción bloques del nodo DeviceNet.....	65
3.2.1 BLOQUE MICROCONTROLADOR.....	66
3.2.2 BLOQUE FUENTE DE ALIMENTACION	67
3.2.3 BLOQUE MÓDULO AB6001	67
3.2.4 BLOQUE NIVELES DE CORRIENTE	68
3.2.5 BLOQUE AD420	68
3.2.6 BLOQUE POTENCIA DE SALIDA	69
3.2.7 BLOQUE ACONDICIONADOR DE SEÑAL	70
3.2.8 BLOQUE COMUNICACIÓN USB.....	71
3.3 DIAGRAMA DE FLUJO DEL SOFTWARE.....	72
4. PRUEBAS Y VALIDACIÓN DEL SISTEMA	78
4.1 INTEGRACIÓN DEL NODO DEVICENET A LA RED DEVICENET	78
4.2 Pruebas del nodo DeviceNet en el bus de campo	79
4.3 Pruebas del controlador PID	80
4.3.1 Pruebas del controlador del nodo DeviceNet ante cambios en el Setpoint.....	81
4.3.2 Pruebas del controlador del nodo ante cambios en el Setpoint, AWBT habilitado ...	82
4.3.3 Pruebas del controlador del nodo ante cambios en el Setpoint, AWBT deshabilitado	83
4.3.4 Pruebas del controlador del nodo en operación normal, AWBT activado	84
4.3.5 Pruebas del controlador del nodo en el bus de campo ante fallas en el PLC, AWBT habilitado.	85
4.3.6 Pruebas del controlador del nodo en el bus de campo, AWBT deshabilitado.....	86
4.3.7 Pruebas del controlador del nodo ante fallas en las líneas de datos del bus de campo, AWBT habilitado	86
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	88
6. RECOMENDACIONES Y TRABAJOS FUTUROS.....	90
6.1. RECOMENDACIONES	90

6.2. TRABAJOS FUTUROS	90
BIBLIOGRAFIA	91

Lista de Figuras

Figura 1: Grupos de tareas en un sistema de control industrial con estructura distribuida [4]	16
Figura 2: Solución DCS general	19
Figura 3: Solución DCS general con redundancia	20
Figura 4: Área de aplicación (laboratorios del PIA).....	39
Figura 5: Dimensiones y plantas de procesamiento del laboratorio de control de procesos	40
Figura 6: Caja para conectores DeviceNet y DH-485	43
Figura 7: Conector para DH485	43
Figura 8:a) Conector abierto para DeviceNet b) Conector cerrado para DeviceNet	43
Figura 9: DCS para los laboratorios del PIAI, Solución 1.....	49
Figura 10: DCS para los laboratorios del PIAI, Solución 2.....	50
Figura 11: DCS para los laboratorios del PIAI, Solución 3.....	50
Figura 12: DCS para los laboratorios del PIAI, Solución 4.....	51
Figura 13: DCS para los laboratorios del PIAI, Solución 5.....	52
Figura 14: Arquitectura DCS para los laboratorios del PIAI	61
Figura 15: Diagrama de Bloques Nodo DeviceNet. Fuente diseño propio.....	65
Figura 16: Diseño de fuente mis-wiring. Fuente de diseño propio	67
Figura 17: Circuito de protección de niveles. Fuente de diseño propio.....	68
Figura 18: Circuito de conversión AD420.Fuente de diseño propio	69
Figura 19: potencia. Fuente de diseño propio	70
Figura 20: Acondicionadores de señales de entrada Fuente de diseño propio	71
Figura 21: Puertos de comunicaciones	72
Figura 22: Diagrama de flujo programa principal. Fuente de diseño propio.....	74
Figura 23: Diagrama de flujo de funciones PID y configuración AB6001.Fuente de diseño propio	76
Figura 24: Diagrama de flujo funciones DAC420, Lee ADC. Fuente de diseño propio.....	77
Figura 25: del bus de campo Nodo DeviceNet fuente modificada de [5]	79
Figura 26: Diagrama P&ID del control de nivel de la planta de tanques interactuantes	81
Figura 27: Respuesta de la variable de proceso ante cambios en el setpoint modo automático y AWBT activado	82
Figura 28: Respuesta de la variable de proceso ante cambios en el setpoint cambios de modo automático a manual y AWBT activado.....	83
Figura 29: Respuesta de la variable de proceso ante cambios en el setpoint cambios de modo automático a manual y AWBT desactivado.....	83

Figura 30: Diagrama en escalera en el PLC controlador primario	84
Figura 31: Respuesta de la variable de proceso ante fallas en PLC controlador primario AWBT activado.....	85
Figura 32: Respuesta de la variable de proceso ante cambios fallas en el bus decampo AWBT desactivado.....	86
Figura 33: Comportamiento del nodo DeviceNet ante fallas en la línea de datos del bus de campo.....	87

Lista de Tablas

Tabla 1: Identificación de la instrumentación	8
Tabla 2: Controladores e interfases	8
Tabla 3: Redes y componentes.....	9
Tabla 4: Evaluación inicial en DCS	12
Tabla 5: Necesidades en DCS	18
Tabla 6: Tipo de redes de acuerdo a su cobertura.....	27
Tabla 7: Soluciones en DCS	31
Tabla 8: Identificación de la instrumentación	42
Tabla 9: Controladores e interfases	42
Tabla 10: Componentes de red.....	44
Tabla 11: Evaluación inicial en DCS para los laboratorios del PIAI	46
Tabla 12: Necesidades en DCS para los laboratorios del PIAI (aplicada a la planta de tanques interactuantes).....	48
Tabla 13 Soluciones en DCS para el laboratorio del PIAI.....	52
Tabla 14: Elección del sistema DCS para los laboratorios del PIAI	56
Tabla 15: Evaluación inicial en DCS vs DCS exigido y DCS obtenido.....	61
Tabla 16: Características eléctricas entradas y salidas del nodo analógico	65
Tabla 17: Características de Microcontrolador 18f2550.....	66
Tabla 18: Estado del Nodo en el bus de campo.....	80
Tabla 19: Constantes de sintonización del PID y constantes del modelo de la planta	81

INTRODUCCION

El control distribuido cada vez ha ganado más popularidad en el contexto de la automatización industrial, se creó para mejorar las deficiencias que se tenían con los antiguos sistemas de control de grandes procesadores o computadoras centralizadas que para ejercer sus funciones de control y manejo de datos del proceso necesitaban de un complejo y extenso cableado de kilómetros dispersos en una forma no muy funcional hacia todos los dispositivos de campo a través de las instalaciones industriales.

Con el auge de la tecnología en las comunicaciones industriales es cuando el control distribuido toma especial importancia, los dispositivos de campo dejan de ser solo instrumentos de medida y son diseñados para convertirse en dispositivos inteligentes capaces de formar un sistema (o núcleo) autónomo de control con capacidad propia para procesar y realizar funciones de diagnóstico de los mismos. Por esta razón los dispositivos de campo son independientes de la existencia o no de un procesador central, de esta manera se crea un sistema descentralizado y modular que haciendo uso de los sensores inteligentes, puede obtener información de los diversos equipos ubicados en diferentes partes del proceso y transportarla mediante los buses de campo a diferentes dispositivos de control para su debido proceso.

Los buses de campo fueron producto de la evolución de las comunicaciones industriales, creándose gran cantidad de buses propietarios establecidos por los fabricantes de PLCs (Controladores Lógicos Programables) para mejorar la interconexión de los dispositivos de campo existentes, lo que ocasionó incompatibilidades entre fabricantes, dependencia y por lo tanto inconformidad para la industria que los poseía. La comunidad industrial ha planteado un esfuerzo para crear un sistema estándar abierto que mejore las incompatibilidades entre fabricantes con procedimientos de validación y homologación bien definidos, en el cual las especificaciones deben estar publicadas y disponibles a

bajos costos para cualquiera que desee adquirirlas[1], éstas características proporcionan sistemas cada vez mas compatibles y homogéneos entre fabricantes.

Los buses de campo poseen características únicas que los hacen parte esencial en el control distribuido, han ocupado su espacio hasta convertirse en elemento esencial de estos sistemas de control, disponen de una arquitectura con ciertas propiedades que permiten: la flexibilidad, escalabilidad, gestión de datos de proceso y distribución de procesamiento, características comúnmente utilizadas en la denominada: arquitectura de control distribuido.

En el ambiente industrial se incorporan nuevas tecnologías, procesos, se hacen modificaciones, modernización de equipos, etc., la intención es cada día mejorar el sistema productivo y convertirlo en uno más organizado y automatizado. Estas mejoras hacen que las tecnologías de control tradicional se muden a sistemas modulares y distribuidos, ocasionando la incógnita: ¿cómo se encuentra el proceso en relación con los sistemas de control distribuido? Y ¿Cómo identificar esta tecnología?, con tal motivo en este trabajo de grado se formulan una serie de criterios de automatización en control distribuido que aplicados a procesos industriales, permitan llevar de una manera sistematizada y organizada la instrumentación presente en las instalaciones de un proceso industrial a un enfoque o arquitectura de automatización distribuida. Es indispensable que para la aplicación de los criterios exista cierto grado de automatización en las instalaciones del proceso en estudio como lo son: sensores y/o actuadores inteligentes, redes de comunicación, controladores con acceso a estas redes y demás componentes de los sistemas de control distribuido que se analizan a lo largo del trabajo. Una profundización sobre los tipos de procesos productivos y sistemas de control distribuido útiles para comprender el desarrollo de la etapa inicial de este trabajo de grado, se describen en los anexos A y B respectivamente, los anexos C, D, E, F, G, profundizan el conocimiento sobre las investigaciones de tipo electrónico realizadas en la etapa de diseño que se detalla en el capítulo 3. La organización de la documentación para el desarrollo de este proyecto es la siguiente: en el capítulo 1: criterios de automatización en control distribuido aplicado a procesos industriales, se formulan los criterios que

permitan hacer un análisis en las instalaciones de un proceso industrial para proyectarlo en una arquitectura de control distribuido. En el capítulo 2: criterios de automatización en control distribuido aplicados a un proceso industrial, se hace la aplicación en los laboratorios del programa de ingeniería en automática industrial de los criterios proporcionados en el capítulo anterior, se pretende realizar este análisis para comprobar que el laboratorio mencionado contiene la instrumentación necesaria para hacer una proyección en una estructura de control distribuido. En el capítulo 3: diseño e implementación de un nodo DeviceNet con entradas y salidas analógicas, se realiza el análisis del diseño utilizado para la construcción de un nodo, no comercial, compatible con el bus de campo DeviceNet presente en los laboratorios del programa de ingeniería en automática industrial, que los estudiantes dejan como aporte a la Universidad del Cauca, este nodo contribuye a la implementación de una característica (redundancia), presente en los sistemas de control distribuido, necesaria para realizar una aplicación de control distribuido en los laboratorios. En el capítulo 4: Pruebas y validación del sistema, se comprueba la utilización del nodo en una estructura de control distribuido, proporcionando los resultados obtenidos que permiten constatar que en los laboratorios del programa de ingeniería en automática industrial se pueden realizar implementaciones de control distribuido. En el capítulo 5: conclusiones y recomendaciones, se presentan las conclusiones que surgen como resultado de la ejecución del proyecto, tanto a nivel de desarrollo como a nivel teórico, de igual manera, contiene las recomendaciones producto de la experiencia adquirida.

1 CRITERIOS DE AUTOMATIZACION EN CONTROL DISTRIBUIDO PARA SU APLICACIÓN EN PROCESOS INDUSTRIALES

En el presente documento se pretende formular una serie de criterios de automatización en sistemas de control distribuido (DCS de sus siglas en ingles *Distributed Control System*) aplicados a procesos industriales con cierto grado de automatización, para llevarlos de una manera sistematizada y organizada a un entorno o arquitectura distribuida. Estos son aplicables a procesos de tipo continuo, discreto, por lotes o una combinación de estos (ver anexo A) y se abordan desde un enfoque o punto de vista del proceso, partiendo del conocimiento previo referente al funcionamiento de los procesos, la definición y los elementos que componen un sistema de control distribuido, señalados en el anexo B. En el desarrollo del tema se determinan especificaciones de los diferentes procesos, para facilitar una vista de las diversas posibilidades tecnológicas en dispositivos de control industrial. Se espera brindar un concepto general y práctico en las actividades que conllevan a distinguir y elegir las tecnologías que conforman un sistema de procesos distribuidos comunicados por una red con su respectivo monitoreo desde un punto estratégico y equipo adecuado.

Para una correcta aplicación de los criterios, se considera necesario el desarrollo de ciertas actividades previas como es: la identificación de los requerimientos tanto técnicos como económicos sobre aplicaciones de control distribuido aplicados a un caso particular de estudio, paso que conlleva a realizar un levantamiento de información para valorar sus instalaciones respecto a los sistemas de control distribuido. Más adelante, con la información obtenida se procede buscar una solución mediante la aplicación de los criterios planteados, para determinar las necesidades en DCS solicitadas.

1.1. REQUERIMIENTOS DEL PROYECTO

En las instalaciones de una planta industrial, se encuentran procesos con cierto grado o completamente automatizados, que presentan situaciones no previstas dentro de la parte

operativa y redes de comunicación, como: pérdida de línea en el suministro de datos con PLC, servidores, sensores, entre otros dispositivos que son parte del manejo global de la planta, estas anomalías causan graves daños en las instalaciones y procesos, como el cierre de algunas operaciones de una planta industrial hasta el paro total de sus actividades, provocando pérdidas tanto económicas como humanas [2]. Para solucionar estas necesidades el mercado de la automatización industrial ofrece una amplia gama de dispositivos, todos ellos presentan características que los hacen propios de un DCS, por eso se hace necesaria una herramienta que permita elegir estas tecnologías de una manera práctica, que obedezca a requerimientos y factores técnico-económicos, además de buscar la compatibilidad y utilizar la tecnología existente.

Los requerimientos en control distribuido presentes en un complejo industrial con miras a realizar una proyección de este tipo, obedecen a cumplir una o más características de los DCS, como: interconexión de áreas, instalaciones, procesos e instrumentación para cumplir con la formación de todos los grupos esenciales de un DCS, aplicación de redundancia en algún componente del sistema de comunicaciones o parte operativa, donde no se puede realizar constantemente mantenimiento por las condiciones de acceso a ese lugar. Estas entre otras necesidades, en especial la distribución de procesamiento en los procesos les optimizan y les brindan propiedades de DCS. Las necesidades de una instalación industrial se proyectan como requerimientos que deben ser detallados, especificados, comentados y encargados a la persona quien realiza la aplicación de los criterios, esta información permite un enfoque sobre la necesidad planteada y evita la realización de rutinas innecesarias en la fase inicial de levantamiento de información para la aplicación distribuida, por ejemplo: no justifica realizar un estudio de toda un área, cuando la necesidad presente se encuentra en una de las instalaciones del área nombrada.

Los requerimientos para el desarrollo de este trabajo de grado se enfocan en factores económicos, técnicos, o una combinación de estos.

Factor económico: cuando el desarrollo de una aplicación distribuida tiene algunas limitaciones presupuestales.

Factor técnico: cuando no importa el coste de la implementación a realizar, pero si debe cumplir con ciertas condiciones técnicas.

La combinación de ambos factores permite que se lleven a cabo, aplicaciones en control distribuido con cierto grado de limitación de presupuesto y con el cumplimiento de ciertos parámetros técnicos impuestos.

1.2. LEVANTAMIENTO DE INFORMACION

Teniendo claros los requerimientos, se procede a realizar un levantamiento de información que permita determinar y conocer cómo se encuentran las instalaciones en planta, de un caso particular de estudio respecto a los sistemas DCS, expuesto por los requerimientos. Esta actividad comprende: la identificación del área de aplicación, identificación de los procesos dentro de las instalaciones, identificación de la instrumentación de cada proceso en las instalaciones, identificación de las redes existentes, pasos necesarios para realizar un análisis que abarque la parte operativa, comunicaciones y supervisión, para sustraer información que permita elaborar un mapa conceptual inicial de la situación en estudio en relación a los DCS, con el análisis de esta información se realiza un diagnóstico que más adelante permite hacer un acercamiento concreto sobre las necesidades y de ahí proceder a la aplicación de los criterios.

1.2.1. IDENTIFICACIÓN DEL ÁREA DE APLICACIÓN

Para esta actividad se hace necesario realizar un plano (puede estar soportado en alguna herramienta CAD), que proyecte la estructura de la planta industrial o situación en estudio, donde se muestre de una manera general como está distribuida el área de aplicación, puede contener divisiones como son las instalaciones o cuartos de control con los componentes más significativos como por ejemplo redes de comunicación, componentes que van a ser detallados más adelante.

1.2.2. IDENTIFICACIÓN DE LOS PROCESOS DENTRO DE LAS INSTALACIONES

En esta actividad se hace necesario realizar un plano (puede estar soportado en alguna herramienta CAD), donde se muestren los procesos a integrarse al DCS y que existen dentro de las instalaciones definidas anteriormente, se deben mostrar de una forma más detallada los procesos que existen en las instalaciones encontradas, además de esto deben quedar explicadas en breves palabras las funciones que cumplen los procesos existentes.

1.2.3. IDENTIFICACIÓN DE LA INSTRUMENTACIÓN DE CADA PROCESO EN LAS INSTALACIONES

En esta actividad se hace necesario realizar un análisis de cada proceso dentro de las instalaciones encontradas y detallados en la sección anterior, debe contener: los dispositivos que componen cada una de sus partes y el tipo de señales que manejan, esta información se debe presentar en formatos que sean de utilidad a la hora de su consulta y donde se debe detallar: área de aplicación, sección, proceso, nombre de los dispositivos, las variables a manipular, valores de voltaje en el proceso, ya sea alimentación o control del dispositivo y descripción de las variables utilizadas, la tabla 1 muestra un ejemplo y puede ayudar en la actividad de recolección de información de la instrumentación, la Tabla 2 es un formato adecuado para recolectar la información sobre controladores e interfaces.

Tabla 1: Identificación de la instrumentación

AREA DE APLICACION :Laboratorios del PIAI						
SECCION: Laboratorio De Control De Procesos						
PROCESO: Planta De Tanques Interactuantes						
Nombre del dispositivo	Tipo de Variable a manipular	Valores de voltaje en proceso		Descripción variable	Método de acceso y control	Dispositivo de control
		Entrada	Salida			
Motobomba	On-Off	110v ac		Alimentación	Local	PLC DAQ
Servo-válvula	On-Off Analógica	110v ac 4-20 mA		Alimentación Control Servo	Local Local	PLC DAQ
Transmisor de Nivel	On-Off Analógica	24v dc	4-20 mA	Alimentación Medida Nivel	Local Local	PLC DAQ
Transmisor de flujo	On-Off Analógica	24v dc	4-20 mA	Alimentación Medida de flujo entrada	Local Local	PLC DAQ
Transmisor de flujo	On-Off Analógica	24v dc	4-20 mA	Alimentación Medida de flujo salida	Local Local	PLC DAQ

Tabla 2: Controladores e interfases

AREA DE APLICACION :Laboratorios del PIAI				
SECCION: Laboratorio De Control De Procesos				
PROCESO: Planta De Tanques Interactuantes				
Controladores	Módulos de expansión	Tipo	Descripción	
PLC MicroLogix 1500	1769-IF4	Entradas analógicas	Contiene 4 canales de entradas para señales analógicas	
	1769-OF2	Salidas analógicas	Contiene 2 canales de salida para señales analógicas	
National Instruments PCI 6024E	-	Tarjeta de adquisición de datos		
Interfaz				
Computador	-	Escritorio	Con Windows XP, puerto serial y mouse: se utiliza para configurar y programar el PLC	

1.2.4. IDENTIFICACIÓN DE LAS REDES EXISTENTES

En esta actividad se determina la existencia de los sistemas de comunicación en los procesos, instalaciones y área de aplicación, determinando: redes encontradas, características, lugares de acceso y conexión, puede estar soportado en alguna herramienta CAD adecuada. Un formato que tenga la información que sugiere la Tabla 3, puede utilizarse para registrar la información obtenida de las redes.

Tabla 3: Redes y componentes

AREA DE APLICACION: Laboratorios del PIAI	
SECCION: Laboratorio De Control De Procesos	
PROCESO: Planta De Tanques Interactuantes	
BUSES DE CAMPO	
Equipo	Función
Controladores de bus, Módulos de comunicación, fuente de alimentación de bus, etc.	
REDES DE USUARIO	
Equipo	Función
Controladores de red, Módulos de comunicación, etc.	
Estaciones de monitoreo	
Equipo	Función
Computadores, consolas de operación, pantallas graficas, etc.	

1.3. CRITERIOS DE AUTOMATIZACION EN CONTROL DISTRIBUIDO

En el anexo A se hace un estudio de los sistemas de control distribuido y los grupos que los conforman, situación que coloca en confusión al usuario final sobre cómo utilizar estas tecnologías, por esta razón se hace necesario contar con elementos de juicio a la hora de seleccionar un sistema de control distribuido para una aplicación determinada. Esta sección plantea un conjunto de criterios que tienen como propósito aclarar la selección de elementos pertenecientes a los DCS, determinar su compatibilidad con la instrumentación y procesos existentes. Los criterios involucran características inherentes al proceso productivo sobre el que se va a implementar el DCS, al sistema de comunicaciones, la

operación, supervisión, coordinación y distribución de procesos, redundancia determinada por la complejidad, seguridad del sistema de control y preferencias del usuario.

Los criterios son una forma general de información, de utilidad para las tareas iniciales en la aplicación de sistemas DCS, se recomienda seguir estos en conjunto con la información obtenida de la situación en estudio que se describe en la sección 1.1 y 1.2, como una secuencia de pasos que ayuden a tener un enfoque en una o varias soluciones viables para la aplicación de un sistema DCS, que cumpla con los requerimientos e integre los componentes existentes en una instalación industrial con cierto grado de automatización. Estos son:

1. Valoración de la estructura encontrada respecto a los sistemas de control distribuido
2. Soluciones y equipos para control distribuido
3. Tecnologías en control distribuido

El primer criterio: valoración de la estructura encontrada respecto a los sistemas de control distribuido, tiene como finalidad definir realmente que es lo que se desea obtener del sistema DCS, de acuerdo a las características propias del tipo de industria y las necesidades que presenta el proceso, el segundo criterio: soluciones y equipos para control distribuido, parte de información general y conocimiento en equipos DCS, para encontrar solución a necesidades presentes en los procesos y que responda a los requerimientos exigidos. Finalmente el tercer criterio: tecnologías en control distribuido, se basa en el desarrollo de una actividad que consiste en estudiar las tecnologías en DCS posicionadas tanto a nivel internacional como a nivel local. El reconocimiento de estas tecnologías es sinónimo de seguridad y puede ayudar a encontrar una selección de un DCS para un caso particular de estudio.

Una recomendación conveniente, antes de empezar con la aplicación de los criterios, es realizar una valoración de la información que se ha obtenido con el levantamiento de información, esta permite encontrar y elaborar un diagnóstico (mapa conceptual), de cómo

se encuentran las instalaciones de un proceso particular en estudio, respecto a los sistemas DCS.

1.3.1. MAPA CONCEPTUAL

Para una correcta aplicación de los criterios y después de haber hecho el levantamiento de información, es necesario como una actividad y etapa inicial, la elaboración de un mapa conceptual, que muestre cómo se encuentran las instalaciones de la situación en estudio, respecto a los sistemas de control distribuido. Para el desarrollo de esta etapa se sugiere utilizar la Tabla 4, donde se ha detallado y se determina la utilización de dos pasos para el registro y valoración de la información, estos se interpretan de la siguiente manera:

Paso 1. Equipos y características en proceso:

En esta columna se registran los componentes que se consideran de mayor importancia en los sistemas DCS.

Paso 2. Nivel DCS en proceso:

En esta columna se registra la existencia o no de componentes DCS en proceso. En la subcolumna solo control: se denotan los procesos cuando no pertenecen a una estructura DCS, pero pueden tener alguna característica de éstos. En la subcolumna DCS clásico: se denotan los procesos cuando cumplen con las características de los DCS clásicos, procesos que cumplen con características de control distribuido con una sola red de comunicación para realizar la distribución de procesamiento, supervisión y control. En la subcolumna DCS por niveles: se denotan procesos que cumplen con las características de control distribuido con más de una red de comunicación para realizar la distribución de procesamiento, supervisión y control, bien sea en proceso o secciones departamentos para manejos estadísticos, control de producción, entre otros.

Interpretación de la tabla: para los sistemas DCS clásicos es indispensable que se cumplan las características: distribución de procesamiento, que exista bus de campo y se

comuniquen los pasos anteriores, las características de división de proceso y redundancia se han considerado indiferentes (puede existir o no) para este primer acercamiento de las instalaciones con un DCS, pero no restan importancia porque ayudan a enriquecer y mejorar el comportamiento del DCS. Para los sistemas DCS por niveles es indispensable, además de las características de los DCS clásicos, la existencia de redes de usuario y la comunicación con los pasos anteriores que son componentes esenciales de los DCS por niveles. Si no aplican las características de los DCS clásicos y DCS por niveles, los procesos se denotan por solo control, la existencia de características automáticas pero en una configuración que no es DCS.

Tabla 4: Evaluación inicial en DCS

AREA DE APLICACIÓN:			
SECCION:			
PROCESO:			
PASO 1: Equipos y características en proceso	PASO 2: Nivel DCS en proceso		
	Solo control	DCS clásico	DCS por niveles
División de proceso	Si/No	Si/No	Si/No
Distribución de procesamiento	Si/No	Si	Si
Bus de campo	Si/No	Si	Si
Comunica pasos anteriores	No	Si	Si
Red de usuario	Si/no	Si/no	Si
Comunica pasos anteriores	No	No	Si
Redundancia	Si/No	Si/No	Si/No

Nota: El uso de la definición comunica pasos anteriores (de las definiciones de equipos y características en proceso) en la Tabla 4, permite definir un sistema como DCS clásico o DCS por niveles, según sea el uso del condicional (Si, No, Si/No). El uso del condicional Si en la Tabla 4, significa que para que sea válida esa casilla, debe existir esa característica en proceso, el condicional No, significa que no está presente esa característica y el condicional Si/No, significa que puede o no estar presente esa característica, por ejemplo: en un sistema DCS Clásico debe presentarse la característica comunica pasos anteriores que significa: que debe existir bus de

campo que comunique los procesos y que haya distribución de procesamiento, la característica redundante, puede o no existir.

El diagnóstico general, producto del desarrollo de esta actividad, es un elemento de vital importancia en la aplicación de todos los criterios, porque permite distinguir las partes y componentes de un DCS que le hace falta a una situación particular de estudio, para clasificar como un sistema DCS, esta situación, permite enfocar la investigación en los componentes DCS donde se encuentra una posible solución a los requerimientos.

1.3.2. VALORACIÓN DE LA ESTRUCTURA ENCONTRADA RESPECTO A LOS SISTEMAS DE CONTROL DISTRIBUIDO

En este criterio, con un correcto procedimiento entre el diagnóstico de las instalaciones y el sistema DCS deseado por los requerimientos, se puede encontrar una solución en DCS partiendo del análisis de las necesidades encontradas.

El tipo de proceso productivo es un factor que condiciona la elección de tecnología e instrumentación para un DCS, como también la integración y utilización de los sistemas que componen una instalación industrial, por esa razón, en este criterio se hace necesario tener claros los conceptos de los tipos de procesos vistos en el anexo A, la instrumentación que componen los procesos de la situación en estudio, que se obtiene con el levantamiento de información y el diagnóstico del proceso que se obtiene con el desarrollo del mapa conceptual de la etapa previa a la utilización de los criterios, con estos conceptos se puede realizar un análisis que conlleve a un enfoque sobre las necesidades en DCS y tecnologías a utilizar.

También, conocer que algunas tecnologías están diseñadas para trabajar en procesos o áreas específicas es importante en la selección de un DCS, tal es el caso de los PLC (provenientes de empresas que en su mayoría son del sector eléctrico, cuyos principales productores son Allen Bradley, Schneider y Siemens), que surgen como un reemplazo para la implementación de lógicas a relé y por tanto sus capacidades se desarrollaron principalmente orientadas al tratamiento de infraestructuras del sector eléctrico,

tradicionalmente, con variables provenientes de procesos de tipo discreto, es decir, elementos que pueden tomar dos estados (abierto y cerrado), con entradas de contactos tipo relés, *switches* de posición de válvulas o de nivel y salidas de bobinas tipo relés, solenoides, control de dispositivos como motores, etc. Los PLC son equipos que poseen grandes ventajas para estas aplicaciones, como en sus prestaciones de velocidad. De igual manera, los DCS (provenientes de empresas vinculadas a la instrumentación y control de procesos, como Honeywell, Fisher-Rosemount, Foxboro, Smar entre otras), se han creado con grandes capacidades de procesamiento analógico, es decir, señales provenientes de transmisores de variables y procesos continuos, con registros de entrada de presión, temperatura, etc. y señales de salida como electroposicionadores de válvulas de control o convertidores I/P. Con el transcurso del tiempo estas dos tecnologías PLC y DCS han evolucionado y se pueden adoptar soluciones híbridas para el control de procesos que soporten las dos tecnologías [3]. Por este motivo, se sugiere el análisis adecuado de la instrumentación existente en proceso y sus características de integración y compatibilidad con nuevas tecnologías.

Además, como se plantea en la introducción a este capítulo, debe existir un proceso medianamente o completamente automatizado, se espera, tras realizar un análisis, valoración de los tipos de procesos, de la instrumentación existente y de los requerimientos de la aplicación para determinar el DCS adecuado, que en los procesos donde se apliquen los criterios, existan tecnologías y características de integración que pertenezcan a los DCS, como también la finalidad de los criterios es la adquisición de un DCS que esté compuesto de tecnología compatible con la que existe en los procesos.

Las actividades que encierran este criterio, para distinguir necesidades que conlleven a la búsqueda de tecnologías, para elegir el DCS que cumpla con los requerimientos y especificaciones técnicas son:

En caso de la instrumentación: identificar si la integración de la instrumentación se puede realizar desde los equipos de una estación de control local o es necesario su acceso desde una estación o cuarto de control remoto.

En caso de control: se procede a la identificación de grupos o procesos intervenidos por controladores con acceso a redes de comunicación ubicados en planta (control local) o desde cuartos y estaciones de control distantes del proceso(control remoto), desde los que se tiene acceso a señales y control de unidades en proceso mediante dispositivos equipados de comunicación con redes denominados dispositivos inteligentes, de la misma forma la identificación de estaciones (remotas o locales) para monitoreo, configuración y acceso a variables de proceso.

En caso de redes: verificar la posible existencia de sistemas de comunicación implementados, para definir si se pueden usar como base en la comunicación de los dispositivos de campo del DCS o a nivel de centralización de la información e integración de departamentos, también definir si se puede crear una comunicación activa entre las redes encontradas.

En caso de redundancia: identificar la presencia de redundancia, si es necesario incrementarla o definirla, determinando redundancia en controladores (redundancia de CPU), redundancia de redes o métodos de mejorarla.

Todas las características para que se cumplan las especificaciones técnicas y requerimientos de un DCS se deben analizar, tratando de integrar en su mayor parte los equipos existentes, como también se deben listar los equipos a adquirir, conociendo y determinando las especificaciones técnicas de cada necesidad como: equipos para realizar control local o remoto, alimentación, velocidad de transmisión, potencia, señales que manejan, redes a las que se debe integrar, pasarelas, ambientes de trabajo para los que deben disponerse, etc., con esta primera aproximación de la instrumentación existente en una planta industrial a los sistemas de control distribuido, se puede obtener información y conocimiento valioso para determinar una estructura DCS como la que se detalla en los dos primeros grupos de la Figura 1, que es una arquitectura de control distribuido clásica, donde el control distribuido se basa en la utilización de una red de comunicaciones para el manejo de la información, distribución del procesamiento en los procesos existentes y monitoreo. Otra forma en que se puede encasillar el proceso en estudio es una arquitectura con todos los grupos detallados en la Figura 1, que es una estructura de control distribuido que abarca una o más estructuras clásicas para distribuir

el procesamiento, una o más redes de usuario que permiten el manejo y aplicaciones en red para la supervisión, intercambio de datos con otros departamentos, entre otras funciones (para una profundización en los componentes y arquitectura de un control distribuido, consultar el anexo B), todas estas características que presentan los procesos del caso en estudio, se evalúan para la formación de un mapa conceptual que permita informar cómo se encuentra respecto a los sistemas de control distribuido.

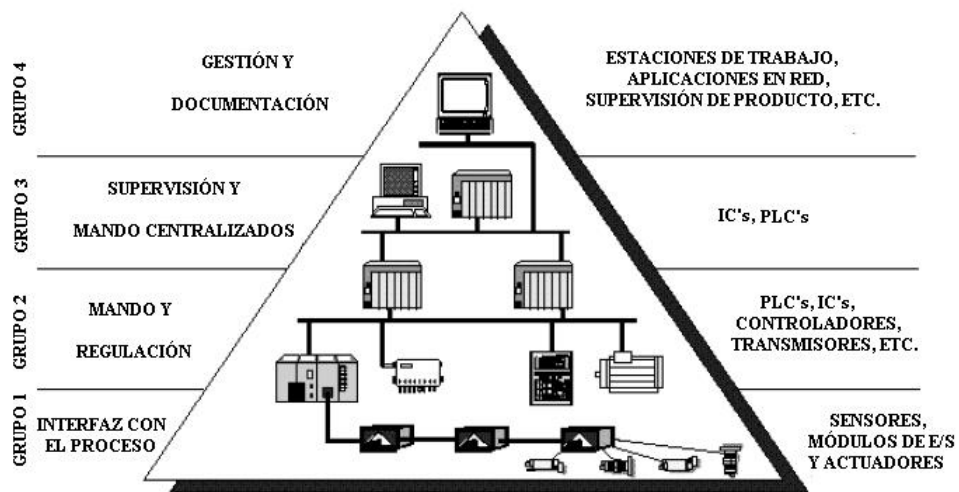


Figura 1: Grupos de tareas en un sistema de control industrial con estructura distribuida [4]

Análisis del criterio

Como ayuda en la utilización de este criterio se puede utilizar la Tabla 5, que permite realizar el seguimiento de las actividades relacionadas en los párrafos anteriores para encontrar en planta, las necesidades para su posterior consulta en busca de soluciones y opciones a evaluar. Para la utilización de esta tabla, es necesario el desarrollo de tres pasos o actividades: Paso 1: Equipo y características en proceso, Paso 2: Nivel DCS deseado en proceso, Paso 3: Necesidad, consulta y evaluación.

Paso 1: Equipo y características en proceso

En esta columna se han ubicado los que se consideran los principales equipos y características componentes de los DCS, con estos se pretende evaluar las necesidades y requerimientos de la situación en estudio.

Paso 2: Nivel DCS deseado en proceso

Este paso se compone de tres columnas: alguna de estas contiene el diagnóstico obtenido con el levantamiento de información y en la siguiente se sitúa el DCS y aplicación solicitadas por los requerimientos.

Nota: la situación en estudio se puede clasificar como: solo control, DCS clásico y DCS por niveles y los requerimientos pueden exigir aplicaciones de: DCS clásico y DCS por niveles.

Paso 3: Necesidad, consulta y evaluación

En esta columna se ubican las necesidades en detalle para una consulta y posterior valoración.

Evaluación de los pasos anteriores:

Esta etapa consiste en tres actividades: la primera es colocar en las casillas de las columnas: Solo control, DCS clásico y DCS por niveles, la valoración de la información que obtiene de la situación en estudio, registrada en el mapa conceptual. La segunda actividad consiste en registrar y seleccionar qué preferencia de control distribuido precisan los requerimientos (se recomienda utilizar un distintivo para las casillas donde se registra el diagnóstico y uno diferente para las casillas donde se registra el DCS deseado). La tercera actividad consiste en evaluar las recomendaciones e información suministrada al inicio de este criterio, para encontrar y delimitar las necesidades en DCS, para listar los equipos a adquirir y para proceder a la búsqueda de una solución que cumpla con los requerimientos planteados.

Tabla 5: Necesidades en DCS

AREA DE APLICACIÓN:				
SECCION:				
PROCESO:				
PASO 1: Equipos y características en proceso	PASO 2: Nivel DCS deseado en proceso			PASO 3: Necesidad, consulta y evaluación
	Solo control	DCS clásico	DCS por niveles	
División de proceso	Si/No	Si/No	Si/No	
Distribución de procesamiento	Si/No	Si	Si	
Bus de campo	Si/No	Si	Si	
Comunica pasos anteriores	No	Si	Si	
Red de usuario	Si/no	Si/no	Si	
Comunica pasos anteriores	No	No	Si	
Redundancia	Si/No	Si/No	Si/No	

Con la culminación de este criterio surgen necesidades y soluciones específicas para la integración, elección de equipos y tecnología, es un criterio que permite la selección de un DCS, partiendo de la búsqueda de las necesidades que existen en los procesos. En si este criterio que proporciona una solución en DCS, distingue tecnología requerida para cubrir una necesidad. Con las características obtenidas se procede a la búsqueda de los dispositivos más representativos en el mercado para su elección o se puede proceder a la utilización conjunta de los criterios siguientes, para encontrar una solución más específica o seleccionar una tecnología más especializada.

1.3.3. SOLUCIONES Y EQUIPOS PARA CONTROL DISTRIBUIDO

Otro factor importante al que puede obedecer la selección de sistemas DCS es conocer la tecnología de la que se compone. A grandes rasgos, ésta representa y responde a las

necesidades que se presentan en los procesos industriales. Ésta puede tomarse como base para escoger una solución en cada uno de los casos a los que aplica, la solución debe obedecer a las características técnicas en control distribuido para el dispositivo o aplicación.

A continuación se presentan las principales características de los equipos que componen los sistemas DCS, éstos sirven como solución a las necesidades más importantes en control distribuido presentes en las instalaciones industriales, las soluciones existentes en el mercado se pueden encasillar en los modelos que se presentan a continuación (para mayor entendimiento ver Figura 2 y Figura 3).

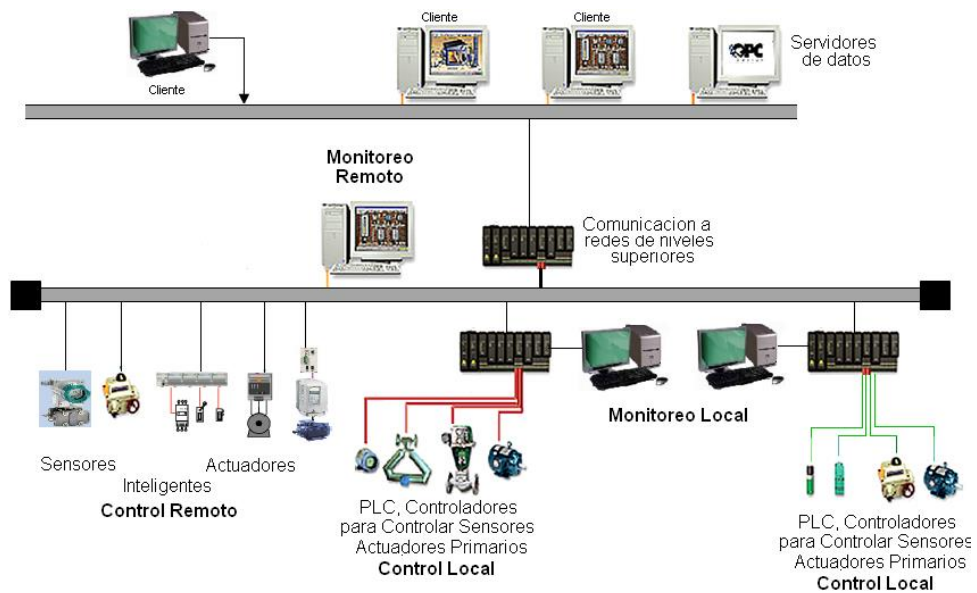


Figura 2: Solución DCS general

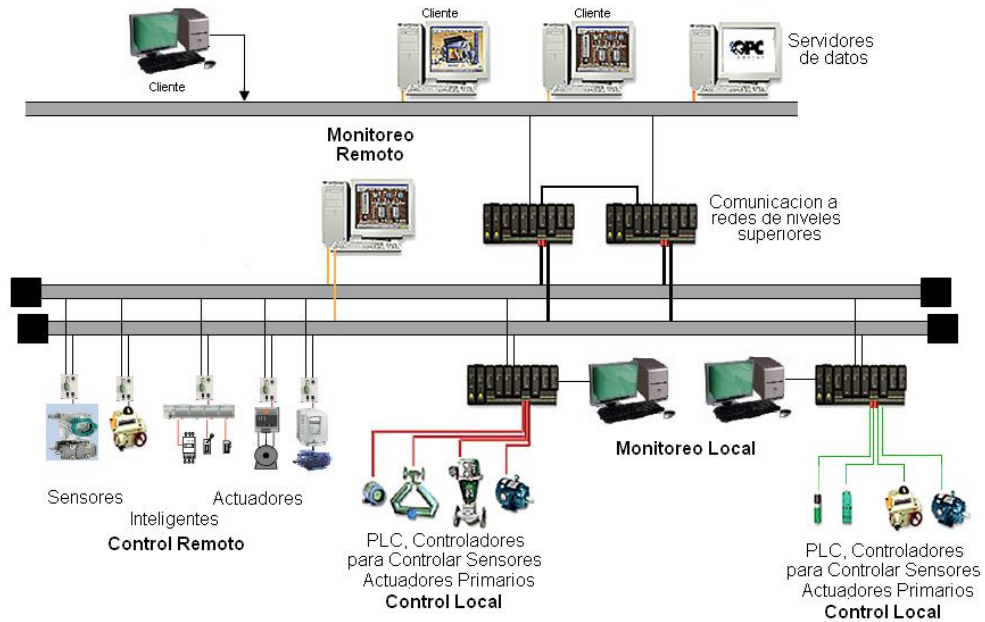


Figura 3: Solución DCS general con redundancia

Adición de elementos de medida

Es información proveniente de determinadas variables físicas como: temperatura, presión, nivel, fuerza, posición, velocidad, desplazamiento, entre otras. Para su almacenamiento y procesamiento se clasifican según el rango de valores que proporcionan como:

Señales de entrada analógicas:

Este tipo de señales son de tipo numérico, principalmente se las considera como los valores de algo que se está midiendo en el sistema (por ejemplo corriente, voltaje, entre otros). Normalmente toma los siguientes valores:

Con entrada analógica en corriente: el rango suele ser de 4-20 mA, 0-20 mA.

Con entrada analógica en tensión: el rango suele ser de 0-5V, 0-10V, 1-5V.

Señales de entrada Digitales:

Son señales de dos estados, tipo on/off (1 o 0), entre este tipo de señales se considera la presencia, posición, niveles, disparo de protecciones, etc. Normalmente toma los siguientes valores:

Con entrada de voltajes: 110V ac, 240V ac, 5V dc, 12V dc, 24V dc.

Según el nivel de integración al sistema las señales de entrada provenientes de sensores toman propiedades para comunicación a controlador o comunicación con red.

Comunicación a controlador (control y acceso local):

En este caso el sensor (la señal medida) es conectado directamente en el proceso a: tarjetas remotas o entradas de PLC ubicados en planta. Los sensores que clasifican en este tipo de integración entregan una señal analógica o digital, la característica distribuida la tiene el equipo que los controla (procesamiento y localización distribuida en proceso).

Para sensores en proceso, que presentan esta característica se establece: a qué proceso se va a incluir el sensor, se determina las especificaciones técnicas del dispositivo a conectar, se analiza si existen los equipos adecuados, con entradas libres para adicionar dicho sensor, como por ejemplo módulos remotos de entradas, PLC, PAC (de sus siglas en inglés: Programmable Automation Controller), de no existir, lo más aconsejable es evaluar si resulta más económico seleccionar un nuevo controlador para conectar al proceso el sensor o incluir un dispositivo con comunicación a la red que integre este equipo.

Los dispositivos del mercado deben cumplir con las especificaciones del sensor, especificaciones eléctricas y de conexión, con los controladores que más se adapten al proceso en estudio.

Comunicación con red (control y acceso remoto):

En este caso el sensor posee un módulo especial de comunicación, capaz de establecer contacto con una red de comunicaciones como un bus de campo o un bus de dispositivos,

indicando el valor de la señal medida al sistema de control o dispositivo que lo solicite y esté conectado a bus (ya sea PLC o computador). Los sensores que clasifican en este tipo de integración, clasifican como sensores inteligentes y pueden ser integrados a un bus de campo en cualquier lugar donde se tenga un punto de acceso.

Para sensores que presentan esta característica se establece: el lugar de acceso, tipo de señal, a qué red se va a conectar, si hay puntos y capacidad de acceso a esta red.

Los dispositivos del mercado deben cumplir con las especificaciones del sensor, especificaciones eléctricas y de conexión con las redes que más se adapten al proceso en estudio.

Adición de elementos actuadores:

Los actuadores ajustan el proceso de acuerdo a las órdenes recibidas desde el sistema de control entre ellos se encuentran: cilindros neumáticos e hidráulicos, motores eléctricos, electroválvulas, resistencias calefactores, etc. Como el sistema de control únicamente maneja señales eléctricas, los actuadores disponen de un elemento de interfase (o preactuador) que reacciona a esas señales eléctricas activando el actuador, entre los más habituales se encuentran: electroválvulas que son preactuadores de los cilindros y actuadores de giro neumáticos e hidráulicos, relés y contactores, que sirven para conectar y desconectar actuadores eléctricos como resistencias calefactores o motores, arrancadores estáticos que sirven para conectar o desconectar motores eléctricos limitando las corrientes de arranque, entre otros [4].

Los actuadores y preactuadores son controlados con señales de salida analógica y digital.

Señales de salida analógicas:

El sistema de control PLC, PAC ejerce sobre el actuador o preactuador con una señal analógica. Ésta, normalmente toma los siguientes valores:

Con salida analógica en corriente: el rango suele ser de 4-20 mA, 0-20 mA.

Con salida analógica en tensión: el rango suele ser de 0-5V, 0-10V, 1-5V.

Señales de salida Digitales:

El sistema de control (PLC, PAC) ejerce sobre el actuador o pre-actuador con una señal digital. Ésta, normalmente toma los siguientes valores:

Con salida de voltajes: 0 ó 110V ac, 0 ó 240V ac, 0 ó 5V dc, 0 ó 12V dc, 0 ó 24V dc.

Los actuadores o preactuadores toman propiedades para comunicación a controlador, comunicación con red, según el nivel de integración al sistema y la procedencia de la señal de control o señal de salida.

Comunicación a controlador (control y acceso local):

En este caso el actuador o preactuador es conectado directamente en el proceso a: salidas de: tarjetas remotas, PLC, PAC, entre otros dispositivos de control ubicados en planta. Los actuadores que clasifican en este tipo de integración, reciben una señal analógica o digital de control, la característica distribuida la tiene el equipo que los controla (procesamiento y localización distribuida en proceso)

Para actuadores o preactuadores que presentan esta característica se establece: a qué proceso se va a incluir el actuador o preactuador, a qué elemento final de control está destinado, se determinan las especificaciones técnicas del dispositivo a conectar, se analiza si existen los equipos adecuados dentro del proceso, para adicionar dicho actuador, como por ejemplo un PLC con salidas libres, de no existir, lo más aconsejable es evaluar si resulta más económico seleccionar un nuevo controlador para conectar al proceso este actuador o incluir un dispositivo con comunicación a la red que integre este equipo.

Los dispositivos del mercado deben cumplir con las especificaciones del actuador, especificaciones eléctricas y de conexión con los controladores que más se adapten al proceso en estudio.

Comunicación con red (control y acceso remoto):

En este caso el actuador o preactuador posee un módulo especial de comunicación, capaz de establecer contacto con una red de comunicaciones como un bus de campo, indicando el valor de la señal medida al sistema de control o dispositivo que lo solicite y esté conectado (ya sea PLC o computador). Los actuadores o preactuadores que clasifican en este tipo de integración, clasifican como sensores inteligentes y pueden ser integrados a un bus de campo en cualquier lugar donde se tenga un punto de acceso.

Para actuadores o preactuadores que presentan esta característica se establece: a qué elemento final de control está destinado, tipo de señal, donde es el lugar de acceso, a qué red se va a conectar, si hay puntos y capacidad de acceso a esta red.

Los dispositivos del mercado deben cumplir con las especificaciones del actuador, especificaciones eléctricas y de conexión con las redes que más se adapten al proceso en estudio.

Adición de controladores:

Son unidades de control que en función de las señales de entrada, se programan para activar o desactivar entradas y salidas, con señales proporcionales a la ley de control implementada en ellos.

Los controladores toman control del proceso desde un acceso local o remoto, según sea su nivel y propiedad de integración al sistema.

Control Local:

Los controladores en una configuración de control local, para clasificar como un componente DCS, deben tener las siguientes características: prestaciones de acuerdo a la parte de control que tiene asignado (controla procesos continuos, discretos, por lotes o una combinación de ellos), comunicación con las redes del proceso (bus de campo por ejemplo) e intercambio de información con dispositivos maestros de red o niveles superiores.

Para esta configuración en proceso, en un controlador se identifica: qué tipo de control va realizar (si es por lotes, continuo, discreto o una combinación), número de variables a controlar, en qué estación se realiza el control, en qué configuración, a qué red se va a conectar, si hay puntos y capacidad de acceso a esta red.

Los dispositivos del mercado deben cumplir con las especificaciones de control local de las variables, especificaciones eléctricas y de conexión con las redes que más se adapten al proceso en estudio.

Control remoto (Control por red):

Los controladores en una configuración de control remoto, para clasificar como un componente DCS, deben tener las siguientes características: comunicación con las redes del proceso (bus de campo, buses de dispositivos por ejemplo), intercambio de información con dispositivos maestros de red o niveles superiores, ser maestros en la comunicación, para acceder a los datos y control de los dispositivos de entrada y salida de la red que controlan.

Para esta configuración en proceso, en un controlador se identifica: qué tipo de control va realizar, número de variables a controlar (se supone deben estar conectadas a la red, sino consultar adición de elementos de medida y actuadores, control y acceso remoto), se identifica a qué red se va a conectar, si hay puntos y capacidad de acceso a esta red, desde que estación remota realiza el control, en que configuración. Si las variables a controlar no se encuentran conectadas a la red y pueden ser controladas por un PLC, en configuración de control local con prestaciones acorde a ese número de variables, se evalúa el caso de adición de elementos de medida y controladores para control local, ya que el uso elevado de módulos de control inteligentes no es una norma en los DCS (se estaría desperdiciando puntos de conexión, las recomendaciones para control distribuido convergen en la conexión de procesos y no un elevado número de variables de éstos).

Sistema de comunicaciones

Los DCS presentan dos sistemas de comunicación: en el primero se encuentran las redes cercanas al proceso como son los buses de campo. El segundo sistema de comunicación lo integran las redes de usuario que son redes para centralización y manejo estadístico de datos.

Adición de un Bus de campo:

Son redes que están físicamente en contacto con el entorno a controlar se conectan a ellos: sensores, actuadores, módulos de E/S inteligentes, PLC, computadores, pantallas gráficas, entre otros, para maximizar los beneficios de un control distribuido (distribución de procesamiento y manejo de información).

En estos sistemas de comunicación se identifica y es de importancia:

El proceso al que está dirigido, número máximo de nodos a conectar, distancias máximas que debe recorrer, tipo de mensajes a intercambiar, reemplazo automático de nodos, comunicación con redes de nivel inferior y superior, estos datos presentan un punto de referencia que aclaran las características mínimas para tener en cuenta en la selección de un bus de campo, en [5] se encuentran una serie de pautas o criterios de cómo seleccionar un bus de campo.

Adición de Redes de usuario:

Son redes encargadas de la centralización de los datos del proceso para fines estadísticos, de producción, diseño, calidad, entre otros.

En estos sistemas de comunicación se identifica y es de importancia:

El número máximo de dispositivos a conectar, distancias máximas que debe recorrer, tipo de mensajes a intercambiar, reemplazo automático de estaciones, comunicación con redes de nivel superior e inferior. Se recomienda utilizar la Tabla 6 para hacer una selección de redes de usuario, de acuerdo al área de cobertura requerida.

Tabla 6: Tipo de redes de acuerdo a su cobertura

Tipo de Red	Definición	Área de Cobertura
LAN	<i>Local Área Network</i>	Salón, piso, edificio
CAN	<i>Campus Área Network</i>	<i>Campus</i> : Universitario, industrial
MAN	<i>Metropolitan Área Network</i>	Ciudad, área metropolitana
WAN	<i>Wide Área Network</i>	Ciudad, país, continente
INTER-REDES	<i>Interconexión de Redes</i>	Edificio, campus, ciudad, país, etc.

Fuente: Tomado de [4]

Estos datos presentan un punto de referencia que aclaran las características mínimas para tener en cuenta en la selección de una red de usuario para intercambio de datos de calidad distribuida.

Adición de estaciones de trabajo

Está compuesto por los puestos de operación (de las estaciones de control local o control remoto) y los Servidores del Sistema (servidores de datos de las redes de usuario). Físicamente son ordenadores de tipo PC compatibles con las redes y acceso a los datos del sistema, las estaciones de trabajo están presentes tanto en los buses de campo como en las redes de usuario y sirven para realizar monitoreo, configuración y control de las variables del proceso.

En los buses de campo: existen computadores industriales, pantallas gráficas, de mensajes y de interacción con los procesos, para desplegar datos del proceso, control y configuración de controladores.

En las redes de usuario: siguen la filosofía Cliente/Servidor en un entorno Windows normalmente, es decir, uno o varios computadores "Servidores" recogen todos los datos del sistema (base de datos), normalmente uno, y el resto (Puestos de Operación) solicitan los datos (clientes).

La selección de los componentes de las estaciones de trabajo se realiza de acuerdo a la extensión del proyecto, siendo lo más recomendable una estación de trabajo local por

cada proceso, para monitoreo, configuración y control. Las pantallas de despliegue de datos se utilizan de acuerdo a la visualización y control en planta. Los computadores de gestión se determinan de acuerdo a su necesidad en las áreas y departamentos que pertenecen a la parte administrativa.

Los dispositivos del mercado deben cumplir con las especificaciones de conexión con las redes a las que se adapten y requerimientos exigidos.

Adición de redundancia

Un mecanismo redundante es aquel donde existe un dispositivo primario que controla un sistema (bien sea proceso, red o despliegue de datos) y otro dispositivo secundario que está configurado para controlar la operación del sistema en caso de falla del dispositivo primario.

En un sistema redundante de red, un procesador denominado el procesador primario, controla la operación de la red, esta se compone de: controladores, módulos de entrada y salidas, dispositivos inteligentes, etc. Otro procesador, denominado procesador secundario, está configurado para controlar la operación de la red si el procesador primario entra en fallo.

La red está conectada a los dos procesadores así como a todos los componentes de este sistema. Los procesadores se comunican (o "*handshaking*") entre sí e intercambian información de estado (acerca de sus estados de operación). Si el procesador primario entra en fallo o ya no puede controlar las salidas (dispositivos componentes de la red), el procesador secundario toma control y se convierte en el procesador primario.

Los dos procesadores están conectados activamente a los componentes de la red, reciben todos los datos de entrada enviados por los adaptadores de E/S y usan dichos datos cuando ejecutan su escaneo de programa. Los datos de salida se envían mediante la red desde ambos procesadores. Sin embargo, los adaptadores de E/S usan solamente los datos del procesador primario

Del párrafo anterior, se deduce que para redundancia de red deben existir dos procesadores que manejan la red y los dispositivos que la componen, ya sean PLC, computadores industriales, pantallas gráficas, etc., necesitan adaptadores de E/S para su conexión, de modo que cuando se evalúa un sistema con redundancia en red, se debe evaluar también, la parte de adaptadores de E/S para cada componente o los que apliquen como soluciones y equipos para control distribuido.

Lo mismo ocurre con un sistema servidor de datos, los clientes disponen de los datos del servidor primario o el secundario en caso de falla. Encontrando redundancia de servidor.

En el caso de redundancia en controlador, los PLC contienen módulos de redundancia en el procesador con módulos acopladores para aislar el procesador en falla, primario y direccionar las salidas del procesador secundario, también existe redundancia donde los controladores deben estar separados en diferentes chasis, con una línea de seguimiento, siendo estas las características a buscar en controladores redundantes (módulos de redundancia de CPU, con o sin separación de chasis).

Adición de software

El software para DCS son programas que necesitan los sistemas de control que se encuentran en una periferia distribuida para acceder a los datos de los procesos, con ellos se logra una correcta administración y brindan información a los diferentes niveles administrativos y de control. Estos se escogen de acuerdo a: el área de aplicación (procesos de tipo *Bach* o por lotes, procesos de tipo continuo, procesos de tipo discreto) y alcance del proyecto (integración a nivel de procesos, integración a nivel de empresa).

El software a nivel de procesos: permite al operador las funciones de configuración, control y supervisión de planta (buses de campo, buses de dispositivos, PLC, PAC, etc.) adaptándolo a la aplicación particular que desea.

El software a nivel de empresa: integra los dispositivos de campo a través de múltiples redes de comunicación (redes de usuario, buses de campo, buses de dispositivos), realiza la gestión de empresa para fines de evaluación, planificación, coordinación y optimización

a nivel de ERP (Enterprise Resource Planning), MES (Manufacturing Execution System) MIS (Management Information System).

Para escoger el software de control indicado se debe conocer los tipos de procesos que manejan las instalaciones, identificar la extensión del proyecto, determinada por los requerimientos, aplicar una solución y remitirse a la búsqueda de información del software adecuado.

Análisis del criterio

Como ayuda en la utilización de este criterio se puede utilizar la Tabla 7, que permite realizar el seguimiento de los puntos anteriores para encontrar soluciones y dispositivos para DCS. Con su correcta utilización se pueden hacer descartes para encontrar la(s) mejores soluciones en sistemas DCS. Esta actividad funciona a manera de filtro en un sistema de descarte de posibilidades. Para la utilización de esta tabla, es necesario el desarrollo de tres pasos o actividades: Paso 1: solución a necesidades en DCS, Paso 2: soluciones a evaluar, Paso 3 consulta y evaluación a los productos disponibles.

Paso 1: Solución a necesidades en DCS:

En este paso se han agregado las principales soluciones en DCS que se detallan en los párrafos anteriores, con estas se pretende evaluar las necesidades y requerimientos de la situación en estudio.

Paso 2: Soluciones a evaluar

En este paso se sugiere que se analicen previamente las soluciones que se plantean en DCS para el caso particular de estudio y se proporcione una o varias soluciones generales (a manera ilustrativa se ha colocado tres soluciones, pero puede llevar un mayor número de soluciones a evaluar). Se debe tener en cuenta que la utilización de equipos existentes como parte de la solución, es una opción importante.

Paso 3: Consulta y evaluación a los productos disponibles

Este paso consiste en buscar información preliminar y/o detallada sobre los productos del mercado que más se adaptan a cada necesidad.

Evaluación de los pasos anteriores:

Esta etapa consiste en dos actividades: la primera es evaluar la información preliminar obtenida de los productos encontrados para descartar soluciones, la segunda etapa si existen más soluciones, consiste en buscar o consultar con proveedores información más detallada y si cumplen la función, para realizar un segundo descarte, una tercera posibilidad puede presentarse cuando no existe una solución, entonces el paso a seguir es buscar o consultar una solución particular y evaluar si cumplen los requerimientos.

Tabla 7: Soluciones en DCS

AREA DE APLICACIÓN:				
SECCION:				
PROCESO:				
PASO 1: Soluciones a necesidades	PASO 2: Soluciones a evaluar			PASO 3: Consulta y evaluación de los productos disponibles
	Solución 1	Solución 2	Solución 3	
Adición de elementos de medida				Información para solución 1: Información para solución 2: Información para solución 3:
Adición de elementos actuadores				↓
Adición de controladores				↓
Adición de un bus de campo				↓
Adición de redes de usuario				↓
Adición de estaciones de trabajo				↓
Adición de redundancia				↓
Adición de software				↓
Solución particular				↓

Como se puede apreciar en el desarrollo de esta sección, se proporcionan características de equipos que sirven para la selección de elementos de un DCS, por tal razón, este análisis es un criterio conveniente que condiciona la selección de un sistema DCS.

1.3.4. TECNOLOGÍAS EN CONTROL DISTRIBUIDO

Otro aspecto importante referente a los DCS, es el uso de las tecnologías existentes: buses de campo, instrumentación y controladores, como elementos para la distribución de procesamiento e información, implementadas en los sectores productivos a nivel nacional. Con esta información se pueden conocer tecnologías comúnmente implementadas para tener un mejor concepto de cómo enfocar la elección de tecnologías DCS, conocer las inclinaciones de elección de las empresas con buen reconocimiento en el país es un buen concepto porque estas empresas seleccionan e integran en sus instalaciones, tecnologías consolidadas a nivel mundial, con buen soporte técnico, sistemas robustos, entre otras características.

Para hacer un estudio de las tecnologías y sistemas más comunes en DCS, quien esté en proceso de implementar un sistema DCS, debe soportarse en un conocimiento previo, basado en su propia experiencia o tener referencia de quienes tienen experiencia en la integración de estas tecnologías, esto permite inclinarse por una tecnología en particular reflejando un conocimiento frente a las empresas integradoras quienes son parte interesada en la adopción de las tecnologías que ellos promueven.

ELECCIÓN DEL SISTEMA DCS

Finalmente, para la selección de un sistema DCS adaptable a la tecnología existente, quien esté encargado de esta función, debe evaluar los criterios anteriores, que permiten conocer la manera de especificar un DCS, pasando por procedimientos que involucran el análisis de las instalaciones de la planta, sus divisiones en áreas, procesos, unidades funcionales, como también el análisis y evaluación de sus características respecto a los DCS. Dicha evaluación debe contemplar los requerimientos tanto técnicos como económicos, levantamiento de información, además de cualquier peligro asociado a cada unidad de operación. Acto seguido, la interrelación de las unidades y procesos debe analizarse con cuidado, para ver como el rendimiento de cada una de ellas afecta a unidades previas y subsecuentes, clasificar los procesos y lazos de control en: sencillos, cascada, prealimentados, multivariable, complejos, de relación, etc., evaluar los sensores,

controladores y redes instalados para decidir si deben seguirse utilizando o instalar en su lugar equipos más avanzados. Después de este análisis, el encargado de desarrollar la aplicación DCS debe complementar esta búsqueda y saber detectar costos escondidos en las propuestas de los DCS como mantenimientos, capacitaciones de personal, soportes técnicos, entre otros. Estas herramientas de diagnóstico en el evaluador, son factores que ayudan en la coordinación y selección del DCS adecuado, pero también es necesario, revisar algunos aspectos prácticos, no de menor importancia, pero su manifestación y combinación, de una u otra manera condicionan la elección de un DCS, entre estos aspectos se encuentran:

Área de acción. Implica conocer el trabajo que desempeña el proceso, los procesos y áreas a las que se dirige la implementación. Por ejemplo si es un sistema DCS pensado desde el punto de vista de los procesos, donde la distribución del procesamiento se realiza destinando y ajustando un controlador para cada proceso, de manera que su comunicación, configuración y monitoreo se realiza a través de estaciones de monitoreo y bus de campo. Otra configuración en sistemas DCS puede ser realizando control distribuido y monitoreo remoto a través de Internet, donde, a parte de control distribuido en proceso, se tiene la implementación de redes con mayores capacidades para manejo de datos que lo brindado por el bus de campo.

Escalabilidad. Implica la implementación de un sistema DCS que tenga la posibilidad de ser ampliado sin dificultades, sin que esto signifique algún perjuicio a la estructura preinstalada.

Concurrencia. Significa que las redes y sistemas que forman parte del DCS, permitan la realización de rutinas de control simultáneamente en toda la planta y áreas de acción.

Tolerancia a fallas. Implica la inclusión de redundancia tanto en las redes de comunicación, como en la parte de control para obtener una disponibilidad del 100% del sistema o la reducción al mínimo de las fallas en la parte de comunicaciones y parte operativa, según los requerimientos y necesidades de la aplicación.

Interoperabilidad. Cuando se conectan dispositivos de diferentes fabricantes, la conexión entre éstos, necesita de medios que establezcan un intercambio de datos en lenguajes comunes entre las tecnologías, estos medios generalmente son pasarelas, interfaces y lenguajes de programación.

Interconectividad. Se valora un sistema abierto o que permita la mayor conexión e integración de dispositivos de diferentes fabricantes funcionando satisfactoriamente.

Intercambiabilidad. Sistemas con capacidad de integrar y sustituir dispositivos sin alterar el funcionamiento.

Seguridad intrínseca. Existencia de equipos adecuados según sea el área de aplicación, como las áreas de alto riesgo que necesitan de dispositivos dotados de seguridad, por ejemplo dispositivos de bajo consumo de potencia y recubrimientos especiales que evitan la generación de chispas en ambientes explosivos.

Fabricante. Se refiere al productor u organización responsable de comercializar el DCS y tecnologías compatibles, conocer el productor es una referencia importante para decidir si adquirir o no el producto. En algunas situaciones la marca es un sinónimo de confianza, calidad y seguridad.

Soporte. El respaldo de un producto, que el fabricante proporciona a través de empresas distribuidoras e integradoras, contiene información técnica y conllevan al conocimiento e implementación de diversidad de tecnología. Este es un factor de importancia en el momento de selección de una tecnología DCS, entre más largo sea el tiempo de soporte y número de equipos disponibles, mayor es el grado de credibilidad y estabilidad a largo plazo de las tecnologías proporcionadas por los fabricantes, de igual manera, entre mayor sea el número de aplicaciones que permite integrar el DCS (aplicaciones de procesos continuos, discretos y por lotes), incluyendo otros fabricantes, mayor es su flexibilidad en el momento de realizar modificaciones y adaptarse a nuevas actualizaciones.

Apertura. Implica la elección de tecnologías soportadas en estándares, abiertos o con el mayor grado de apertura, que permitan la integración de gran cantidad de dispositivos del mercado.

Costos. Después de obtener un número de opciones en dispositivos tanto software como hardware, se procede a realizar una valoración relacionada entre las prestaciones de cada opción y el costo del sistema a adquirir. Esta es quizá una de las características más determinante en la implementación y puesta en marcha de un sistema DCS, permite elegir tecnología de acuerdo al grado de inversión, evaluar aplicaciones económicas que cumplen los mínimos requerimientos y se acomodan al caso de estudio.

Con el análisis de todos los métodos anteriores se reduce el número de opciones para la selección del sistema DCS adecuado, que se adapte a los requerimientos entregados al evaluador de tecnologías DCS avanzadas adaptables a nuevas actualizaciones, donde el vendedor de DCS debe tener capacidad suficiente para proporcionar soporte a largo plazo.

2. APLICACIÓN DE CRITERIOS DE AUTOMATIZACION EN CONTROL DISTRIBUIDO A UN CASO DE ESTUDIO: LA PLANTA DE TANQUES INTERACTUANTES

El laboratorio de control de procesos del Programa de Ingeniería en Automática Industrial (PIAI) de la Universidad del Cauca; se ha venido reforzando con la adquisición de infraestructura, dispositivos y con el desarrollo de investigaciones aplicadas para que en estas instalaciones se puedan llevar a cabo desarrollos teóricos y prácticos sobre control distribuido y redes industriales, brindando a estudiantes la posibilidad de realizar prácticas reales de laboratorio en esta área y al PIAI las condiciones mínimas de calidad requeridas para lograr su futura acreditación.

Con tal propósito, en este apartado se pretende proporcionar una aplicación de los criterios de automatización en control distribuido en los laboratorios del PIAI, documentados en el capítulo anterior. Con el desarrollo de esta aplicación se deberá constatar que en los laboratorios del PIAI se puedan desarrollar aplicaciones en control distribuido.

2.1. REQUERIMIENTOS DEL PROYECTO

Antes de iniciar con el levantamiento de información para la aplicación de los criterios, es necesario saber sobre qué parámetros se basa este proyecto para elegir una aplicación en control distribuido en las instalaciones de los laboratorios del PIAI de la Universidad del Cauca.

En los laboratorios del PIAI existen dos redes industriales, además de una serie de plantas que presentan la instrumentación industrial adecuada para realizar control y monitoreo local, pero hasta ahora, no existen prácticas que hagan uso de estas redes para realizar control y monitoreo remoto, que es una característica del control distribuido, ni mucho menos prácticas en DCS. Por eso es de vital importancia que en este proyecto se realice un sistema que permita conectar al bus de campo DeviceNet una planta de tipo continua de sus laboratorios de tal forma que se brinde a la automatización de los

laboratorios niveles de DCS. Este sistema debe presentar características técnico-económicas que fortalezcan el desarrollo de las prácticas en los laboratorios del PIAI, como: ser una solución educativa, permitir la conexión de la planta de tanques interactuantes, permitir monitoreo remoto, permitir redundancia, ser de bajo costo y con software abierto o que se utilice el que existe dentro de las instalaciones, estos requerimientos se explicitan a continuación:

Una solución educativa

El desarrollo del proyecto en los laboratorios del PIAI debe permitir a los estudiantes la utilización de guías, que permitan corroborar de una manera detallada el funcionamiento de la aplicación e implementación planteada.

Conexión de la planta de tanques interactuantes al bus de campo DeviceNet

Se requiere un dispositivo que permita la conexión de los sensores y actuadores de la planta de tanques interactuantes a un bus de campo DeviceNet. Esta planta es el caso de estudio por tener características especiales e instrumentación de tipo industrial, que facilita el análisis, diseño de sistemas de control distribuido y su conexión a una red de bus de campo, tema del presente proyecto.

Monitoreo remoto

Se requiere que el dispositivo citado en el ítem anterior permita el acceso y control remoto al estado de las variables de la planta de tanques interactuantes, este monitoreo y control debe realizarse desde una estación distante del proceso conectada al bus de campo.

Redundancia

Aparte del control realizado a la planta de tanques interactuantes desde una estación remota, se requiere que el dispositivo de entradas y salidas analógicas tenga implementado un controlador industrial PID y un sistema de seguridad que detecte fallos

en la línea de datos y de alimentación, para realizar un control local hasta el restablecimiento del sistema, de manera que se disminuya considerablemente la posibilidad de caída en el control del proceso en la planta.

Bajo costo

Como el presupuesto de la Universidad del Cauca para los laboratorios del PIAI es limitado, las aplicaciones propuestas deben ser de bajo costo, o que no impliquen gastos excesivos.

Tipo de software

Se requiere que el software que se utilice en la aplicación sea un software libre o que se utilice el que existe en los laboratorios, de manera que no se incurra en gastos adicionales a la Universidad.

2.2. LEVANTAMIENTO DE INFORMACION

Teniendo presente los requerimientos, ahora se procede a realizar una recopilación de la información de interés para realizar control distribuido a la planta de tanques interactuantes, los procesos y redes existentes.

2.2.1. IDENTIFICACIÓN DEL ÁREA DE APLICACIÓN

Los laboratorios del PIAI están constituidos por: la sala de control de procesos, sala de automática, sala de instrumentación, sala de control como se ilustra en la Figura 4. En estas cuatro salas se realizan prácticas y pruebas con instrumentación de tipo industrial. Dichas salas se encuentran ubicadas en el segundo piso de la planta física de la Facultad de Ingeniería Electrónica y Telecomunicaciones.

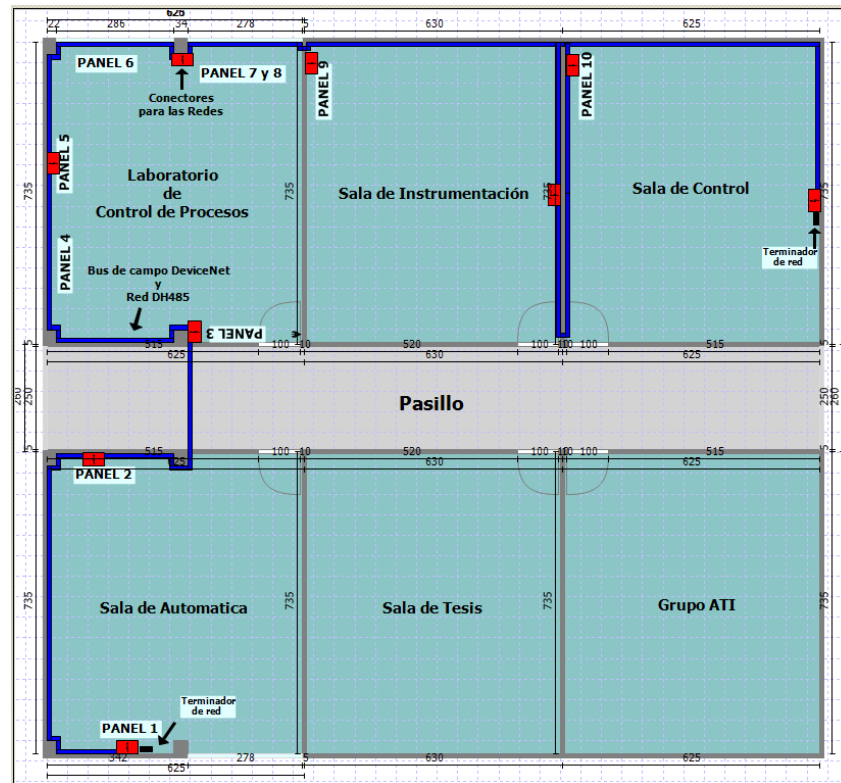


Figura 4: Área de aplicación (laboratorios del PIA).

Las dimensiones libres de las tres salas es la misma: 6.2 metros de fondo por 7.3 metros de frente, separadas por un pasillo de 2.50 metros de ancho

2.2.2. IDENTIFICACIÓN DE LOS PROCESOS DENTRO DE LAS INSTALACIONES

Una de las instalaciones que se detalla en la Figura 4 es el laboratorio de control de procesos, dentro de esta sala se encuentran ubicadas cinco plantas de procesamiento (ver Figura 5): la planta de tanques interactuantes (caso de estudio), la planta de velocidad y posición (MS150), la planta de eventos discretos, la planta de temperatura (PT326), la planta de presión y flujo de aire.

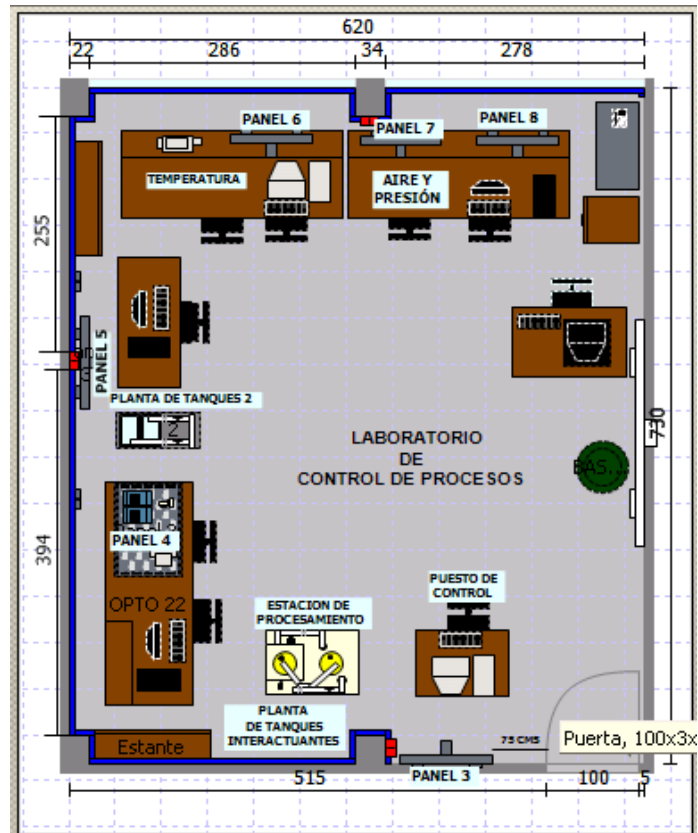


Figura 5: Dimensiones y plantas de procesamiento del laboratorio de control de procesos

El funcionamiento general de las plantas mostradas en la Figura 5 es el siguiente:

La planta de tanques interactuantes:

Está compuesta por un sistema hidráulico y la instrumentación necesaria para abastecer de agua los componentes del sistema durante el proceso y efectuar control de flujo, nivel o ambos, en los tanques que componen la planta.

Planta de velocidad y posición:

Esta planta la conforma el sistema servo modular Feedback MS150, toda su instrumentación se utiliza para realizar control de velocidad y posición al motor MT 150F que forma parte de la planta.

Planta de eventos discretos:

Esta planta la conforma un sistema hidráulico y la instrumentación necesaria para abastecer de agua los componentes del sistema durante el proceso y efectuar control de nivel, en los tanques que componen esta planta.

Planta de temperatura:

Está conformada por el simulador de procesos Feedback PT326, contiene los componentes necesarios para realizar prácticas en control de temperatura, simulando situaciones y condiciones especiales presentes en el ambiente que condicionan la regulación de temperatura en los procesos.

Planta de presión y flujo de aire:

Está compuesta por un sistema neumático y la instrumentación necesaria para abastecer de aire los componentes del sistema durante el proceso y efectuar según requerimientos la regulación de presión en los componentes terminales de la planta.

2.2.3. IDENTIFICACIÓN DE LA INSTRUMENTACION DE CADA PROCESO EN LAS INSTALACIONES

Como se comentó en los criterios, para evitar pasos innecesarios se realiza la identificación de los componentes que están vinculados a la planta de tanques interactuantes, por ser el caso de estudio. Para el control de esta planta se encontró la instrumentación que se ha organizado y detallado en las tablas 8 y 9 (ver Figura 5 para aclarar).

Tabla 8: Identificación de la instrumentación

AREA DE APLICACION :Laboratorios del PIAI						
SECCION: Laboratorio De Control De Procesos						
PROCESO: Planta De Tanques Interactuantes						
Nombre del dispositivo	Tipo de Variable a manipular	Valores de voltaje en proceso		Descripción variable	Método de acceso y control	Dispositivo de control
		Entrada	Salida			
Motobomba	On-Off	110v ac		Alimentación	Local	PLC DAQ
Servo-válvula	On-Off Analógica	110v ac 4-20 mA		Alimentación Control Servo	Local Local	PLC DAQ
Transmisor de Nivel	On-Off Analógica	24v dc	4-20 mA	Alimentación Medida Nivel	Local Local	PLC DAQ
Transmisor de flujo	On-Off Analógica	24v dc	4-20 mA	Alimentación Medida de flujo entrada	Local Local	PLC DAQ
Transmisor de flujo	On-Off Analógica	24v dc	4-20 mA	Alimentación Medida de flujo salida	Local Local	PLC DAQ

Tabla 9: Controladores e interfases

AREA DE APLICACION :Laboratorios del PIAI				
SECCION: Laboratorio De Control De Procesos				
PROCESO: Planta De Tanques Interactuantes				
Controladores	Módulos de expansión	Tipo		Descripción
PLC MicroLogix 1500	1769-IF4	Entradas analógicas		Contiene 4 canales de entradas para señales analógicas
	1769-OF2	Salidas analógicas		Contiene 2 canales de salida para señales analógicas
National Instruments PCI 6024E	-	Tarjeta de adquisición de datos	de de	
Interfases				
Computador	-	Escritorio		Con Windows XP, puerto serial y <i>mouse</i> : se utiliza para configurar y programar el PLC

2.2.4. IDENTIFICACIÓN DE LAS REDES EXISTENTES

Las salas de los laboratorios del PIAI están unidas por un bus de campo DeviceNet y una red DH485 de 75 metros extendidos a los costados de éstas, como se aprecian de color azul en la Figura 4 y Figura 5, los terminadores para el bus de campo (cuadros de color

negro) se encuentran en la sala de automática y control. Las dos redes se encuentran instaladas a 60 cms de sobre el nivel del piso, dentro de canaletas Dexon 60x16d, los conectores, cuadros de color rojo, están ubicados en cajas multipropósito Dexon (ver Figura 6), con la siguiente disposición para conexión: en el laboratorio de control de procesos, debajo del panel 3 se encuentra una caja conectora con un punto de conexión para la red DH-485 (ver Figura 7), un conector abierto y uno cerrado para acceder al bus de campo DeviceNet (ver Figura 8), debajo del panel 5 se encuentra una caja conectora con un punto de conexión para la red DH-485, un conector abierto y uno cerrado para acceder al bus de campo DeviceNet. En medio del panel 6 y 7 se encuentra una caja conectora con dos puntos de conexión para la red DH-485, un conector abierto y uno cerrado para acceder al bus de campo DeviceNet.



Figura 6: Caja para conectores DeviceNet y DH-485



Figura 7: Conector para DH485

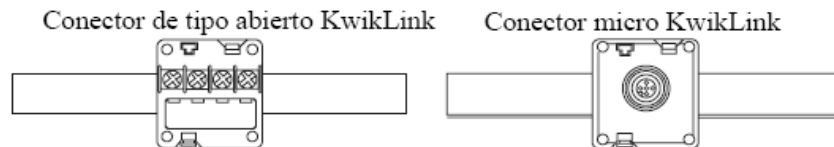


Figura 8:a) Conector abierto para DeviceNet b) Conector cerrado para DeviceNet

Adicional a las redes anteriores, la Universidad cuenta con una red Ethernet.

Los equipos que componen las redes que se nombran, se detallan en la Tabla 10, y se ubican frente al panel 5 (ver Figura 5).

Tabla 10: Componentes de red

AREA DE APLICACION :Laboratorios del PIAI	
SECCION: Laboratorio De Control De Procesos	
PROCESO: Planta De Tanques Interactuantes	
BUS DE CAMPO DEVICENET	
Equipo	Función
PLC micrologix1500	Permite funcionalidad e intercambio de mensajes sobre DeviceNet, funcionando como maestro, pero no puede intercambiar datos I/O directamente, requiere del scanner 1769SDN para comunicarse con redes DeviceNet.
Módulo Scanner 1769-SDN	Sirve como interfaz entre la red y el controlador, se comunica con los dispositivos de la red. Lee las entradas de los dispositivos esclavos, escribe salidas para los nodos esclavos, comunicar dispositivos peer (mensaje), carga y descarga programas al PLC a través de la red DeviceNet.
Módulo de Comunicaciones 1770KFD RS-232	Permite comunicar un computador con la red DeviceNet a través del estándar RS232
Fuente de Alimentación 1606-XL	Fuente de poder para alimentar el bus de campo DeviceNet, cumple todas las especificaciones del estándar DeviceNet
RED DH485	
Equipo	Función
PLC Micrologix1500	Permite funcionalidad de mensajes sobre DH-485
Módulo de Comunicaciones KF3	Permite comunicar un computador con la red DH-485 a través del estándar RS232
Módulo de	Permite comunicar un procesador Micrologix 1500 LRP con la red



Comunicaciones 1761 NET-AIC	DH-485	↓
RED DE USUARIO ETHERNET		
Equipo	Función	
Varios	Red de comunicación Universidad del Cauca	
Estaciones de monitoreo		
Equipo	Función	
Computador	Con Windows XP, puerto serial y <i>mouse</i> : se utiliza para configurar y programar el PLC, manejo de red	

2.3. CRITERIOS DE AUTOMATIZACION EN CONTROL DISTRIBUIDO

Con la información obtenida de las etapas anteriores, se procede a evaluar si los laboratorios del PIAI aplican o se encuentran encasillados en una estructura de control distribuido, estos datos se presentan en la Tabla 11, la que se interpreta de la siguiente manera: existen diferentes procesos en los que se desarrollan prácticas en control de procesos (Si, en la casilla: distribución de procesamiento), existen redes de comunicación como: un bus de campo DeviceNet (Si, en la casilla: Bus de campo), una red DH-485 y una red de usuario (Si, en la casilla: Red de usuario), pero no existen prácticas que impliquen la conexión en red más de un proceso en una aplicación de procesamiento y control distribuido (No, en las casillas: División de proceso, División de procesamiento y Comunica pasos anteriores, tanto para DCS clásico, como para DCS por niveles), como tampoco alguna aplicación de redundancia (No, en la casilla: Redundancia).

Tabla 11: Evaluación inicial en DCS para los laboratorios del PIAI

AREA DE APLICACION :Laboratorios del PIAI			
SECCION : Laboratorio De Control De Procesos			
PROCESO : Extensión del PIAI			
PASO 1: Equipos y características en proceso	PASO 2: Nivel DCS en proceso		
	Solo control	DCS clásico	DCS por niveles
División de proceso	Si	Si/No	Si/No
Distribución de procesamiento	Si	Si	Si
Bus de campo	Si	Si	Si
Comunica pasos anteriores	No	Si	Si
Red de usuario	Si	Si/no	Si
Comunica pasos anteriores	No	No	Si
Redundancia	No	Si/No	Si/No

Por la anterior indicación se procede a la utilización de los criterios para realizar en los laboratorios del PIAI una aplicación en control distribuido, que cumpla con los requerimientos planteados y los objetivos de este trabajo de grado. En la Tabla 11 se ha realizado una valoración de los laboratorios del PIAI de manera general, para observar cómo se encuentran estas instalaciones, en relación a los sistemas DCS, pero los requerimientos y objetivos de este trabajo de grado se enfocan en una aplicación que involucra las redes de comunicación y la planta de tanques interactuantes dentro de los laboratorios, situación que precisa elaborar un nuevo diagnóstico que abarque la planta y las redes, esta información se presenta en la Tabla 12 y se explica en la siguiente sección.

2.3.1. VALORACIÓN DE LA ESTRUCTURA ENCONTRADA RESPECTO A LOS SISTEMAS DE CONTROL DISTRIBUIDO

Del análisis de la información obtenida del proceso productivo (planta de tanques interactuantes) (ver Tabla 12), se tiene que sólo existe control local mediante el PLC o la

tarjeta DAQ de la *National Instruments*. El proceso y PLC es monitoreado y configurado desde un puesto de control situado al lado de la planta y frente al panel 3 (ver Figura 5), en la disposición que se encuentra este proceso, no se puede tener acceso al bus de campo, además actualmente, no existe un mecanismo en proceso para la planta, que permita hacer la distribución de procesamiento.

Con el análisis de esta situación y los requerimientos, se genera la necesidad de un dispositivo que lea las variables de la planta de tanques interactuantes, las comunique al bus de campo, que también permita el control remoto de la servoválvula, además, este equipo debe ser apto y autónomo para detectar fallo en la red, tomar el control local de las variables del proceso, hasta que se normalice la situación, en este caso se daría la distribución de procesamiento y un método de redundancia.

Por otro lado, la instrumentación de la planta de tanques interactuantes, que proviene de diferentes fabricantes, se integra fácilmente a los equipos de control, que en su mayoría provienen del fabricante Allen Bradley, además del bus de campo DeviceNet, situación que inclina la balanza para buscar una solución a la situación presente en los productos de este fabricante.

En la Tabla 12 se han colocado las necesidades más representativas que han resultado de la utilización de las recomendaciones que proporciona este criterio. La columna sombreada de gris es el diagnóstico o la situación que se presenta en los laboratorios del PIAI y la columna sombreada de azul es la clasificación del sistema DCS exigido por los requerimientos.

Tabla 12: Necesidades en DCS para los laboratorios del PIAI (aplicada a la planta de tanques interactuantes)

AREA DE APLICACION :Laboratorios del PIAI				
SECCION: Laboratorio De Control De Procesos				
PROCESO: Planta De Tanques Interactuantes				
PASO 1: Equipos y características en proceso	PASO 2: Nivel DCS deseado en proceso			PASO 3: Necesidad, consulta y evaluación
	Solo control	DCS clásico	DCS por niveles	
División de proceso	No	No	Si/No	
Distribución de procesamiento	No	Si	Si	<ul style="list-style-type: none"> - Redundancia para distribuir procesamiento - Control local a través de un dispositivo autónomo con un controlador industrial PID embebido - Control remoto a través del PLC MicroLogix 1500, controlador de la red - Control local PID a través del controlador que comunica las señales al bus
Bus de campo	Si	Si	Si	Aplicación que permita la utilización del bus de campo DeviceNet
Comunica pasos anteriores	No	Si	Si	<ul style="list-style-type: none"> - Comunicación inteligente con el bus de campo DeviceNet - Comunicación: señales de entrada de 4-20mA señales de salida de 4-20mA
Red de usuario	Si	Si	Si	
Comunica pasos anteriores	No	No	Si	
Redundancia	No	Si	Si/No	<ul style="list-style-type: none"> - Control remoto a través del PLC MicroLogix 1500, controlador de la red, como elemento de control primario - Control local PID, a través del controlador que comunica las señales al bus, como elemento de control secundario - Modo de redundancia: Elemento de control secundario con capacidades para detectar falla en red

Con la utilización de este criterio se encuentra una necesidad en la parte de controladores, que involucra la parte sensores y actuadores, como también las tecnologías y fabricantes empleadas en el control de los procesos de los laboratorios del

PIAI, se espera que con la utilización de los siguientes criterios se pueda puntualizar más esta necesidad, hasta llegar a una solución.

2.3.2. SOLUCIONES Y EQUIPOS PARA CONTROL DISTRIBUIDO

Como en el criterio anterior se ha puntualizado una necesidad alrededor de la parte de controladores, que involucra la parte sensores y actuadores, el análisis de este criterio debe enfocarse en la búsqueda y planteamiento de soluciones que resuelvan la situación presentada. Analizando la necesidad de una aplicación DCS proporcionada por el criterio anterior, el mapa conceptual y los requerimientos, a continuación se presentan 5 posibles soluciones centradas en la parte de: adición de elementos de medida, adición de elementos actuadores, adición de controladores, adición de un bus de campo y sistemas redundantes, en una aplicación que involucre un DCS clásico, porque los requerimientos propuestos, no involucran redes de comunicación a nivel de manejo administrativo. Las soluciones se analizan a continuación:

Solución 1:

Utilizar un PLC MicroLogix 1500 como controlador secundario y un PLC MicroLogix 1500 como controlador primario, que controle la planta por medio de la red DH-485 en una configuración de control remoto (ver Figura 9).

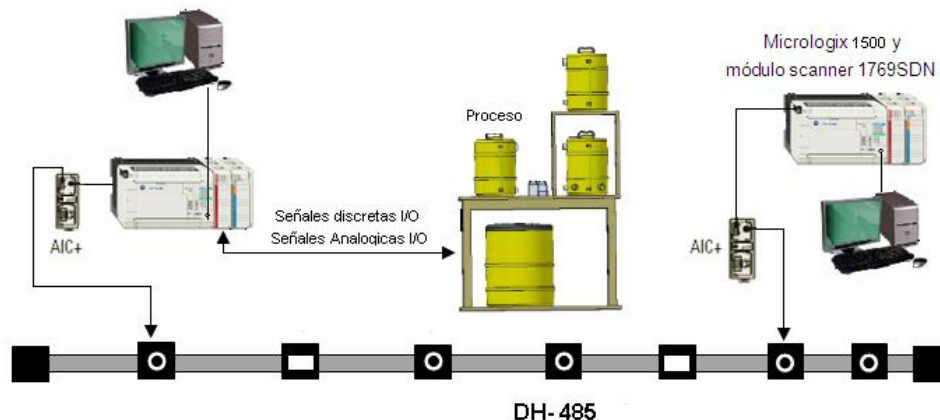


Figura 9: DCS para los laboratorios del PIAI, Solución 1

Solución 2:

Utilizar un PLC 5000 como controlador secundario y un PLC MicroLogix 1500 como controlador primario, que controle la planta por medio de la red DH-485 en una configuración de control remoto (ver Figura 10).

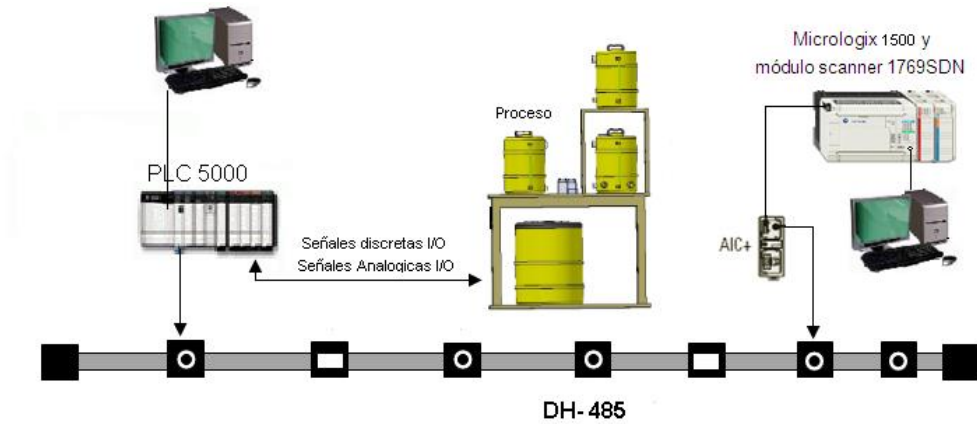


Figura 10: DCS para los laboratorios del PIAI, Solución 2

Solución 3:

Utilizar un PLC MicroLogix 1500 como controlador secundario y un PLC MicroLogix 1500 como controlador primario, que controle la planta por medio del bus de campo DeviceNet en una configuración de control remoto (ver Figura 11).

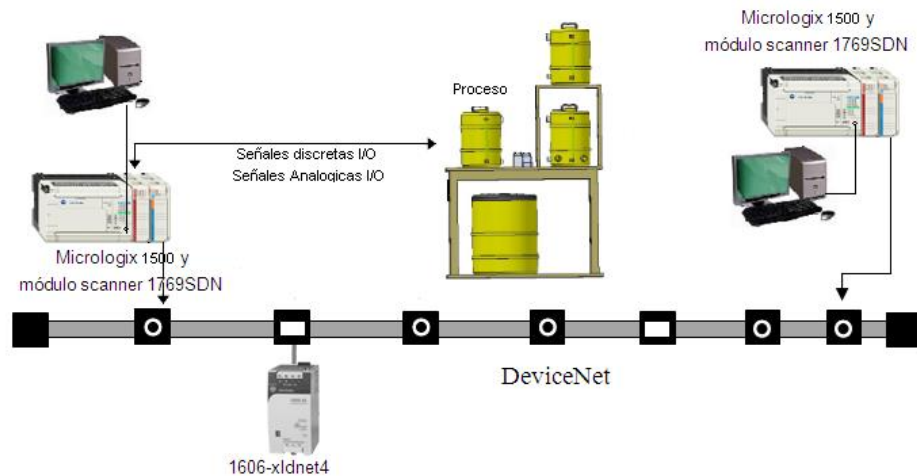


Figura 11: DCS para los laboratorios del PIAI, Solución 3

Solución 4:

Contempla la utilización de un módulo I/O inteligente comercial, como controlador secundario, que lleve embebido y utilice un PID para control local, un PLC MicroLogix 1500 como controlador primario, que controle la planta por medio del bus de campo DeviceNet en una configuración de control remoto (ver Figura 12).

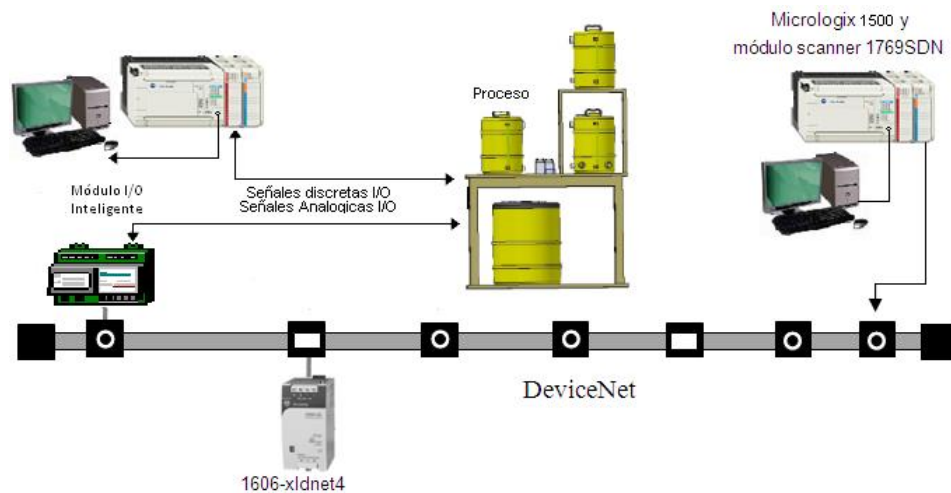


Figura 12: DCS para los laboratorios del PIAI, Solución 4

Solución 5:

Contempla la utilización de un módulo I/O inteligente propietario, como controlador secundario, que lleve embebido y utilice un PID para control local, un PLC MicroLogix 1500 como controlador primario que controle la planta por medio del bus de campo DeviceNet en una configuración de control remoto (ver Figura 13).

La diferencia entre la opción 4 y la opción 5, es que en la opción 4, el módulo I/O inteligente a buscar, procede de algún fabricante encontrado en el mercado, en cambio en la opción 5, es una solución particular que se propone diseñar y desarrollar para cumplir con uno de los objetivos de este trabajo de grado. Cabe resaltar que la aplicación de los criterios en los laboratorios del PIAI son los que determinan las características técnicas para diseñar el módulo I/O inteligente.

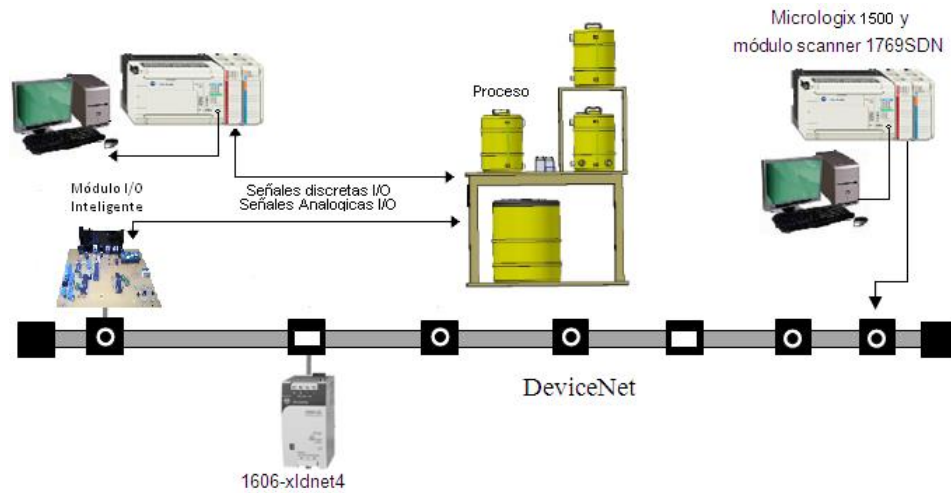


Figura 13: DCS para los laboratorios del PIAI, Solución 5

Con la información de las soluciones anteriores, se procede a buscar en los equipos utilizados en control distribuido proporcionados por los criterios, soluciones o referencias técnicas generales, también son de interés los manuales proporcionados para los equipos que componen las soluciones, para evaluar sus prestaciones e ir descartando posibilidades y para ser consultados con empresas distribuidoras, este análisis se detalla en la Tabla 13.

Tabla 13 Soluciones en DCS para el laboratorio del PIAI

AREA DE APLICACION : Laboratorios del PIAI						
SECCION: Laboratorio De Control De Procesos						
PROCESO: Planta De Tanques Interactuantes						
PASO 1: Soluciones a necesidades	PASO 2: Soluciones a evaluar					PASO 3: Consulta y evaluación de los productos disponibles
	1	2	3	4	5	
Adición de elementos de medida y actuadores	Si	Si	Si	Si	Si	Información para solución 1: Utiliza el PLC MicroLogix 1500 como un módulo I/O remoto para DH-485. Información para solución 2: Utiliza el PLC 5000 como un módulo I/O remoto para DH-485. Información para solución 3: Utiliza el PLC MicroLogix 1500 como un módulo I/O remoto para DeviceNet. Información para solución 4: Utiliza un módulo I/O inteligente y remoto comercial para



						DeviceNet. Información para solución 5: Utiliza un módulo I/O inteligente y remoto propietario para DeviceNet.
Adición de controladores	Si	Si	Si	Si	Si	Información para solución 1: El PLC MicroLogix 1500 como controlador secundario, en proceso y el PLC MicroLogix 1500 como controlador primario que controla la red DH-485 en configuración de control remoto. Información para solución 2: El PLC 5000 como controlador primario, en proceso y el PLC MicroLogix 1500 como controlador secundario, que controla la red DH-485 en configuración de control remoto. Información para solución 3: El PLC MicroLogix 1500 como controlador secundario, en proceso y el PLC MicroLogix 1500 como controlador primario, que controla el bus de campo DeviceNet en configuración de control remoto. Información para solución 4: Contempla la utilización de un módulo I/O inteligente comercial, que lleve embebido un PID para control local de las variables, como controlador secundario y el PLC MicroLogix 1500 como controlador primario, que controla el bus de campo DeviceNet en configuración de control remoto. Comercialmente no existe. Información para solución 5: Contempla la utilización de un módulo I/O inteligente comercial, que lleve embebido un PID para control local de las variables, como controlador secundario y el PLC MicroLogix 1500 como controlador primario, que controla el bus de campo DeviceNet en configuración de control remoto. En una solución particular y propietaria, se propone su diseño y puesta en marcha como uno de los objetivos de este proyecto.
Adición de un bus de campo	Si	Si	Si	Si	Si	Es necesario una red de comunicaciones en las cinco soluciones para realizar el monitoreo, configuración y control por red, exigido en los requerimientos. Información para solución 1 y 2: Estas dos soluciones contemplan el uso de la red DH-485 como sistema de comunicaciones y base para el DCS. Información para solución 3, 4 y 5: Estas soluciones contemplan el uso del bus de campo DeviceNet como sistema de comunicaciones y base para el DCS.
Adición de redes de usuario	No	No	No	No	No	No es requerimiento
Adición de estaciones de trabajo	Si	Si	Si	Si	Si	Información para solución 1 y 2: Se utilizaría el computador asignado en proceso para monitoreo y control local y los computadores conectados a DH-485 en cualquier punto de acceso del laboratorio para monitoreo y acceso remoto a las variables del proceso. Información para solución 3, 4 y 5: Se utilizaría el computador asignado en proceso para monitoreo y control local, el computador de configuración del bus de campo y los computadores conectados a DeviceNet en cualquier punto de acceso del laboratorio para monitoreo y acceso remoto a las variables del proceso.

Adición de redundancia	No	Si	No	No	Si	<p>Información para solución 1 y 3: Estas soluciones no son viables, porque el módulo PID del MicroLogix 1500 del controlador secundario, no puede seguir el esfuerzo de control del módulo PID del MicroLogix 1500 como controlador primario, en una configuración de control remoto, tanto para DeviceNet, como para DH-485, en tal caso no se tendría control local, ni redundancia en caso de falla de la red.</p> <p>Información para solución 2: Esta solución es viable, porque el PLC 5000 (controlador secundario) puede seguir el esfuerzo de control del módulo PID del MicroLogix 1500 como controlador primario, en una configuración de control remoto para DH-485, en tal caso se tendría control local y redundancia en caso de falla de la red.</p> <p>Información para solución 4: Este dispositivo no existe comercialmente.</p> <p>Información para solución 5: Esta solución es viable, porque el módulo inteligente (controlador secundario) puede seguir el esfuerzo de control del módulo PID del MicroLogix 1500 como controlador primario, en una configuración de control remoto para el bus de campo DeviceNet, en este caso, el dispositivo permite el control por red, el control local y la redundancia se presenta cuando el dispositivo de campo detecta la falla y toma el control local.</p>
Adición de software	Si	Si	Si	Si	Si	<p>En los laboratorios del PIAI se encuentran los siguientes software que pueden ser utilizados para realizar la configuración e integración de la tecnología existente:</p> <ul style="list-style-type: none"> RsLinx de Rockwell Software RsLogix 5000 de Rockwell Software RsLogix 5000 Emulate de Rockwell Software Software para monitoreo: RSView@32™ de Rockwell Software LabView de National Instruments. Kepware FreeSCADA <p>De un análisis más técnico en los laboratorios del PIAI, se encuentra que no se puede monitorear DeviceNet desde el software RSView32 existente [6] Por esta razón se opta por una solución particular de monitoreo: un servidor OPC y un cliente.</p>
Solución particular	No	No	No	No	Si	<p>Para las opciones 1, 2, 3 y 4: Las soluciones contemplan productos de un fabricante.</p> <p>Información para producto 3: Se opta por la consecución de una solución particular, porque no existe un producto que cumpla con los requerimientos técnicos exigidos.</p>

2.3.3. TECNOLOGÍAS EN CONTROL DISTRIBUIDO

Para la aplicación de este criterio se hace necesario un estudio general de las tecnologías y sistemas de control distribuido más usados en Colombia, de este estudio se hace evidente el amplio uso de sistemas de comunicación en red siendo las más representativas: DeviceNet, ASI, ModBus, EtherNet, ControlNet, DH485, FieldBus y ProfiBus. Las industrias usan combinaciones de redes de comunicación para cubrir los diferentes niveles de la pirámide CIM [5], junto con software y programas SCADA para manejo, configuración, monitoreo y centralización de datos como: LabView y Lookout de National Instruments, RSView32, RSBatch, PlantPax de Rockwell Automation, SIMATIC WinAC, SIMATIC Protocol de Siemens, FactoryFloor Software de Opto 22 [2].

De las anteriores tecnologías, las más comunes utilizadas en la industria colombiana en redes de comunicación son: FieldBus, ProfiBus, ASI o DeviceNet [5] y en software SCADA: RSView32, SIMATIC WinAC, SIMATIC Protocol, Lookout. Este criterio, para el alcance de la aplicación en DCS para los laboratorios del PIAI, sugiere la utilización de las herramientas de Rockwell Automation, existentes en el laboratorio, que en su parte hardware de control, red DH-485 y bus de campo DeviceNet se adapta a la instrumentación de diferentes fabricantes y en la parte software integra la tecnología para su debido procesamiento y visualización. La herramienta software para monitoreo y control RSView32, ya se ha analizado en trabajos anteriores y se ha encontrado que desde esta no se puede acceder a los datos que existen en DeviceNet [6]. En este caso se ha optado por la utilización de un sistema OPC servidor de datos.

ELECCIÓN DEL SISTEMA DCS

Hasta esta parte de la aplicación de los criterios, se han descartado posibles soluciones a los requerimientos exigidos (ver Tabla 14), ahora, se analizan con más detalle las soluciones restantes con factores y características determinantes, que justifican la elección del DCS más adecuado para los laboratorios del PIAI de la Universidad del Cauca.

Tabla 14: Elección del sistema DCS para los laboratorios del PIAI

AREA DE APLICACION :Laboratorios del PIAI		
SECCION: Laboratorio De Control De Procesos		
PROCESO: Planta De Tanques Interactuantes		
SISTEMA A ELEGIR	CUMPLIMIENTO DE LOS REQUERIMIENTOS	JUSTIFICACION
OPCION 1	No cumple	-----
OPCION 2	Si cumple	Esta solución cumple con los requerimientos y la trayectoria tecnológica de su fabricante es de las más aceptadas en el país, contempla la adquisición de un PLC 5000 para el desarrollo de este proyecto.
OPCION 3	No cumple	-----
OPCION 4	No cumple	-----
OPCION 5	Si cumple	Esta es una solución que cumple con los requerimientos exigidos, permite la automatización a bajo costo de la planta de tanques interactuantes en una arquitectura DCS.

Área de acción

Se ha identificado que el desarrollo de la aplicación en DCS es para un proceso continuo, porque existe flujo continuo y permanente de agua por los componentes de la planta de tanques interactuantes, la aplicación de los criterios, hasta este momento han fijado la utilización de una solución que implica la adquisición de tecnología y una solución particular que involucra el desarrollo de un dispositivo hardware para control y adquisición de datos redundante, ambas soluciones incurren en la utilización de instrumentación, los PLC, bus de campo, software de programación, configuración y manejo de red que existen en el laboratorio, estos equipos que permiten una aplicación en control distribuido a nivel de controladores. Para monitoreo y control de la aplicación de este sistema DCS logrado, los criterios sugieren un sistema servidor OPC y un cliente.

Escalabilidad:

Según especificaciones técnicas, el bus de campo DeviceNet permite un número máximo de 64 nodos a conectar. A lo largo de los laboratorios del PIAI se encuentran instalados

18 puntos de acceso, que no se utilizan en su totalidad, situación que presenta como mínimo 46 puntos de acceso en caso de ser ocupados los 18 existentes.

En estos conectores se pueden enlazar a DeviceNet equipos como: computadores portátiles (con su debida programación), dispositivos inteligentes, PLC, módulos I/O remotos, etc., como también, está en evolución la instrumentación de paneles para aplicaciones futuras en comunicación con DeviceNet y DH-485.

Por las anteriores características presentes en los laboratorios del PIAI, se puede decir que presenta una estructura altamente escalable para aplicaciones futuras, que abarque más de un proceso en una aplicación DCS.

Concurrencia:

La red DH-485 permite el intercambio de datos y control entre los PLC de Allen Bradley conectados a esta red.

El bus de campo DeviceNet instalado en los laboratorios del PIAI permite realizar rutinas de control simultáneas, puesto que es un bus de campo utilizado para el control de dispositivos en tiempo real en los niveles más bajos de automatización.

Por esta característica, se puede decir que en los laboratorios se pueden realizar rutinas de control de manera simultánea y que no afectan las operaciones del sistema trabajando en una configuración distribuida.

Tolerancia a fallas:

Las aplicaciones que tienen relacionado el control de la planta de tanques interactuantes, el manejo del bus de campo DeviceNet y red DH-485, en el momento no presentan algún tipo de mecanismo que ayude a evitar la pérdida de datos y control, ante una falla de los equipos que los componen, motivo que justifica el dispositivo hardware de control

redundante que sugieren los criterios, esta aplicación no reduce al 100% la falla en el funcionamiento de la planta de tanques interactuantes, pero es un mecanismo que disminuye considerablemente esta posibilidad.

Apertura:

-El software disponible para programación e implementación de las aplicaciones del PIAI (*Rockwell Automation*) no es abierto, pero permite algunas herramientas que facilitan la implementación y el uso de software convencional [7]. Free SCADA es un software libre que se ha seleccionado además de sus características técnicas, porque existe soporte en línea, local de personas que trabajan con esta herramienta y buenos resultados.

- DeviceNet cumple con el estándar europeo oficial EN 50323-2 que asegura la interconectividad con una gran variedad de equipos de otros fabricantes [8].

- En los laboratorios del PIAI existe la posibilidad y se han desarrollado soluciones particulares relacionadas con la Red DeviceNet, en [5] se puede constatar esta característica.

Pese a que en los laboratorios del PIAI se dispone de software que no es abierto, se pueden realizar aplicaciones software y hardware particulares.

Fabricante:

La Universidad del Cauca se beneficia de un programa académico acordado con la organización Rockwell Automation, por esta razón se beneficia de: soporte, descuentos, capacitación, kit de herramientas software, actualizaciones de software, etc. Esta es una razón más para inclinar la aplicación con los dispositivos existentes.

Costos:

Las aplicaciones en la que apuntan los criterios, no implica la utilización de gran cantidad de equipos, en su lugar utiliza controladores, instrumentación, red DH-485, bus de campo,

software de programación y configuración que existen en el laboratorio. La solución 2 implica una adquisición muy costosa, que por los requerimientos de la aplicación de este proyecto no es económicamente accesible. La solución 5 implica un desarrollo particular hardware de control y adquisición de datos redundante, se puede realizar con aplicaciones libres, de bajo costo, gracias al grado de apertura que ofrece el bus de campo DeviceNet. Las aplicaciones de los componentes, datos consultados a fabricantes ofrecen muy buenos resultados, un análisis más detallado del diseño de este dispositivo se realiza en el capítulo 3. La solución particular software herramienta de OPC se piensa realizar con Free SCADA, una herramienta libre con buenos resultados y ha sido bien acogida para realizar algunas aplicaciones en ambientes universitarios.

Con el análisis de todos los factores y características que ofrecen los criterios de automatización en control distribuido aplicados a un caso particular de estudio: la planta de tanques interactuantes, se ha podido llegar a una conclusión y solución DCS para esta planta, que cumpla con los requerimientos exigidos para la aplicación, como también con los objetivos principales de este trabajo de grado. Esta solución involucra el desarrollo de un dispositivo hardware de control y adquisición de datos redundante, que se comporte como un nodo para comunicación con el bus de campo DeviceNet, con entradas y salidas analógicas, que sea capaz de realizar control PID. Además que realice un seguimiento de los datos procesados y detecte cuando se pierde la comunicación en el bus de campo, para tener autonomía propia y realizar el control hasta la normalidad, producto del monitoreo de las consignas de control e información de los sensores incluidos al sistema por medio de sus entradas analógicas. Mas detalles de su diseño se incluyen en el capítulo 3.

Finalmente, la arquitectura que resulta, producto de la aplicación de los criterios tiene una forma como la observada en la Figura 14. Este es un sistema de control DCS, donde un PLC MicroLogix 1500 que está configurado como controlador primario, es el encargado de manejar y gestionar el bus de campo DeviceNet, realiza el control de la planta de tanques interactuantes por medio del bus de campo y el nodo con entradas y salidas analógicas DeviceNet (detallado en el capítulo 3). El nodo está configurado como controlador

secundario, monitorea constantemente el estado del bus de campo y periódicamente está realizándole seguimiento a las variables del proceso, con el fin de mantenerlas en los valores configurados en el controlador primario cuando éste entra en falla (inhabilidad del controlador primario por pérdida de las líneas de datos o alimentación). Como elemento auxiliar se tiene el PLC MicroLogix 1500 que actualmente se encuentra en proceso que es el encargado de dar inicio al sistema (prender la bomba, alimentación de la instrumentación) y realiza el monitoreo local de las variables, se ha decidido separar la alimentación de la planta, porque en caso de falla de la red y controlador primario, la instrumentación local del proceso no se desconecte y siga funcionando con el controlador secundario. Para el monitoreo y control de este proceso, se han instalado dos servidores OPC: uno en el computador asignado al proceso, con este se tiene acceso al PLC auxiliar, controlando: el inicio del sistema, el monitoreo de la variable y la interrupción de la línea de datos del bus de campo para simular una falla, este acceso se logra desde un cliente remoto conectado a la red Ethernet. El segundo servidor OPC se ha instalado en el computador asignado para configuración del controlador primario, por medio de este servidor se cambia los valores de consigna de este controlador. El supervisor se instala en un computador cliente de los dos OPC, con este se tiene acceso a la visualización de las variables de proceso, cambio de los valores de consigna del PLC primario y conmutación de la red para simular una falla. Más detalles del funcionamiento de la solución 5 en conjunto con los servidores OPC, que resulta de la aplicación de los criterios en los laboratorios del PIAI y la planta de tanques interactuantes, se describen en la guía: sistemas de control distribuido, proporcionada como uno de los objetivos de este trabajo de grado.

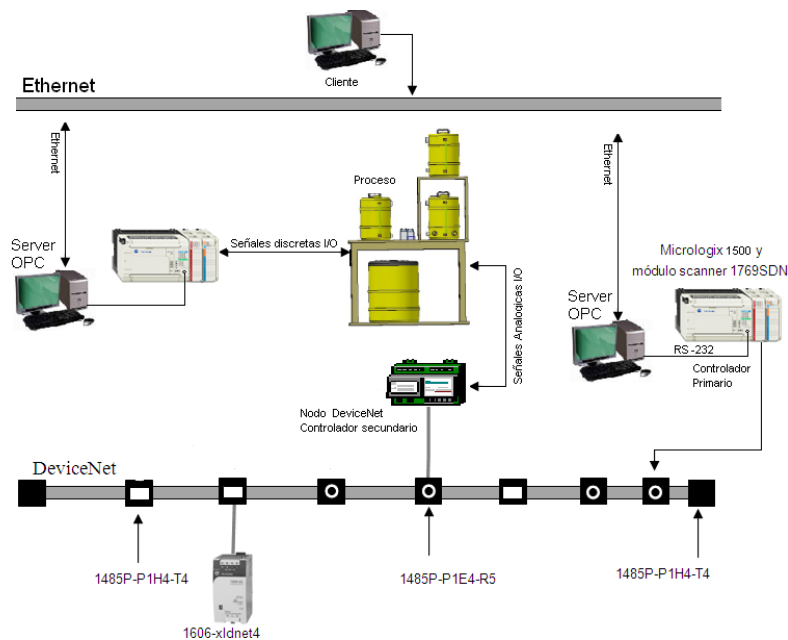


Figura 14: Arquitectura DCS para los laboratorios del PIAI

Al realizar el diagnóstico del sistema DCS encontrado con los criterios, respecto a los DCS posibles de la Tabla 4 y los requerimientos exigidos, se observa que no solo se cumple con los requerimientos (DCS clásico), sino que además se tiene un monitoreo y control desde un acceso remoto mediante una red de usuario, clasificando la aplicación en un sistema DCS por niveles, este diagnóstico se detalla en la Tabla 15.

Tabla 15: Evaluación inicial en DCS vs DCS exigido y DCS obtenido

AREA DE APLICACION :Laboratorios del PIAI			
SECCION: Laboratorio De Control De Procesos			
PROCESO: Planta De Tanques Interactuantes			
PASO 1: Equipos y características en proceso	PASO 2: Nivel DCS en proceso		
	Solo control	DCS clásico	DCS por niveles
División de proceso	No	No	No
Distribución de procesamiento	No	Si	Si
Bus de campo	Si	Si	Si
Comunica pasos anteriores	No	Si	Si
Red de usuario	Si	Si	Si
Comunica pasos anteriores	No	No	Si
Redundancia	No	Si	Si

Donde la columna en gris muestra la situación inicial que presentaban los laboratorios del PIAI, la columna en azul son las exigencias de los requerimientos y la columna en marrón es el sistema DCS alcanzado con la aplicación de los criterios.

Como conclusión de este trabajo de grado se tiene: los criterios de automatización en control distribuido aplicado a procesos industriales, su aplicación en los laboratorios del PIAI y la planta de tanque interactuantes, que proporcionan una solución que cumple con los requerimientos exigidos, el diseño e implementación de un nodo DeviceNet con entradas y salidas analógicas (cuyas características las determinan los criterios), que permite comunicar transmisores y actuadores de 4-20 mA de un proceso industrial a un bus de campo DeviceNet, con seguimiento de los datos y alimentación de red para poner en funcionamiento un PID industrial en caso de falla de la red y el desarrollo de una guía que permite a los estudiantes del PIAI realizar prácticas relacionadas con el control de procesos distribuidos.

3. DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN NODO DEVICENET

El desarrollo del control distribuido en la industria va paralelo al de las comunicaciones industriales, cada vez es necesario disponer de dispositivos que permitan la supervisión remota y el intercambio de información entre procesos por medio de una red de comunicación [9]. El laboratorio de control de procesos e instrumentación industrial de la Universidad del Cauca cuenta con diversas redes de tipo industrial, pero requiere la implementación de esquemas de control distribuido en los procesos ya existentes.

Con base en los resultados que dejó la aplicación al caso de estudio (la planta de tanques interactuantes) de los criterios de automatización en control distribuido utilizados en el capítulo 2, se estableció la necesidad de integrar al bus de campo DeviceNet, existente en los laboratorios del PIAI, los componentes que son parte del proceso de control de nivel, en este caso transmisores y actuadores. Para poder integrar estos elementos del proceso al sistema de comunicación se requirió el diseño e implementación de un dispositivo DeviceNet particular, (que posteriormente se le denominará nodo analógico) el cual no existe comercialmente con las características que permita desarrollar la aplicación requerida en control distribuido como: tolerancia a fallas, control local del proceso mediante un controlador industrial PID AWBT (*Proporcional Integral Derivativo Antiwindup- Bumpless transfer*), intercambio de señales de control e información del estado de las variables del proceso entre los diferentes dispositivos que componen el bus de campo. Características que conducen a que este dispositivo sea diseñado y construido para cumplir las características que permitan que el caso de estudio quede enmarcado en la filosofía de control distribuido.

3.1 Características del nodo analógico

En el diseño de dispositivos DeviceNet se consideraron aspectos necesarios para que el nodo analógico tenga un buen desempeño dentro del bus de campo:

- Conectividad al software de Allen Bradley (Rslinx, Rsnetworx para DeviceNet, Rslogix).
- Tipo de comunicación: productor/consumidor.
- Implementación del controlador industrial PID AWBT.
- Especificaciones protocolo DeviceNet. Para mayor información véase el anexo C.
- Especificaciones protocolo Modbus.
- Especificaciones comunicación CDC (*Communication Device Class*) en USB (*Universal Serial Bus*) para configuración del dispositivo.
- Características de control distribuido (tolerancia a fallas, escalabilidad, apertura, concurrencia).

El dispositivo analógico DeviceNet se encuentra conformado por una serie de partes que le permiten operar de una manera eficiente en el bus de campo. El nodo analógico DeviceNet debe tener total interoperabilidad con los elementos software (PLC Micrologix 1500, módulo 1770KFD, *scanner* 1769-SDN) para ser configurado y los elementos físicos que conforman el bus de campo DeviceNet.

El nodo analógico está compuesto por tres entradas analógicas con resolución a 10bits que le permite integrar a el bus de campo una gran cantidad de dispositivos (sensores, transmisores) que existen en los ambientes industriales normalmente de 4 a 20 mA, dos salidas con resolución a 16 bits de 4-20 mA necesarias para ejecutar señales de control en actuadores (Servovalvulas, accionadores de motores, etc.), controlador industrial PID *AWBT* embebido, tolerancia a fallas, que es una características propia del control distribuido. En este dispositivo se le dio mayor relevancia a la redundancia operativa, de modo que la variable controlada siempre se encuentre en los valores de *setpoint* fijado reduciendo la posibilidad que el sistema de control falle. También cuenta con una interfaz USB para configuración e intercambio de información del nodo analógico. La Tabla 16 muestra las características eléctricas y resolución de las entradas y salidas del nodo analógico.

Tabla 16: Características eléctricas entradas y salidas del nodo analógico

Tipo	Símbolo	Resolución	Rangos	Descripción
Entradas	Entrada_1(An0),	10 bits,	1-5 Vdc,2.5kΩ máx.	Voltios
	Entrada_2(An1),	10 bits,	0-10 Vdc,2.5kΩ máx	Voltios
	Entrada_3(An3).	10 bits.	0-10 Vdc.2.5kΩ máx.	Voltios
Salidas	Salida_1(out1),	10 bits,	4-20 mA,	Corriente
	Salida_2(out2).	10 bits.	4-20 mA	corriente

3.2. Descripción bloques del nodo DeviceNet

En la Figura 15 se muestra el diagrama de bloques del nodo DeviceNet implementado al igual que el enlace físico que debe existir entre el bus de campo, el dispositivo y las señales entre los diversos componentes que integran el sistema. El objetivo principal del diseño del dispositivo es dotar al laboratorio del PIAI de un dispositivo que tenga la capacidad de conectarse a un bus de campo DeviceNet llevando información desde y hacia el proceso, un controlador industrial PID AWBT embebido tipo SISO (única entrada única salida) y que permita descentralizar el control ejecutado por el maestro (PLC) cuando se presentan fallas en la red. En este apartado se describe el funcionamiento de cada bloque:

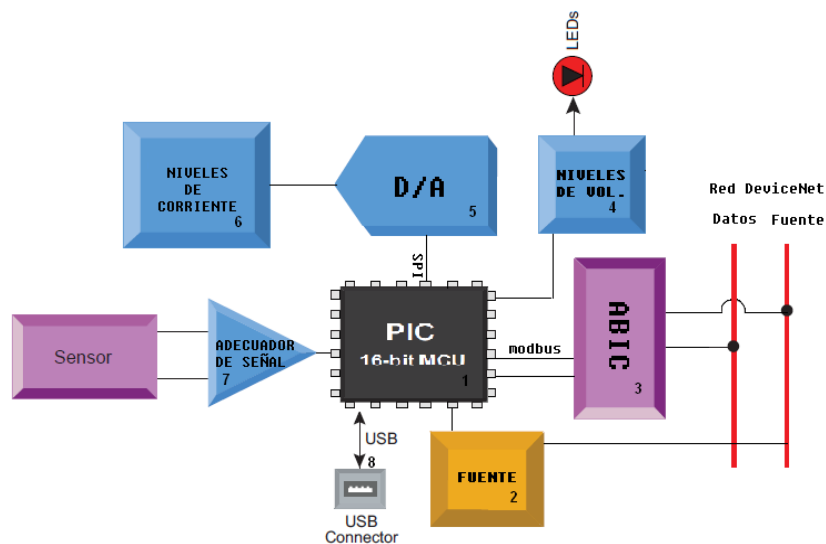


Figura 15: Diagrama de Bloques Nodo DeviceNet. Fuente diseño propio

3.2.1 BLOQUE MICROCONTROLADOR

El programa se implementa en un microcontrolador Pic18f2550. Este se escogió por sus características de velocidad de procesamiento de datos y periférico de comunicación USB. El PIC18f2550 con encapsulado PDIP de 28 pines viene provisto de una gran variedad de unidades funcionales embebidas (Temporizadores, I2C (*Inter-IntegratedCircuit*), SPI (periférico de interfaz serial), unidades de comparación/captura/PWM, convertidores A/D a 10 bits, USB etc.) a continuación se presentan la Tabla 17 con las principales características de este microcontrolador.

Tabla 17: Características de Microcontrolador 18f2550

Características	PIC18F2550
Frecuencia de operación	Hasta 48Mhz
Memoria de programa (bytes)	32.768
Memoria Ram de datos (bytes)	2.048
Memoria EEprom datos (bytes)	256
Interrupciones	19
Líneas de I/O	24
Temporizadores	4
Módulos comparación/captura/PWM	2
Canales de comunicación serie	MSSP,EUSART
Canal USB	1
Comparadores Analógicos	2
Canales de conversión A/D 10 bits	10 canales

En este proyecto, la programación del PIC18f2550 se realizó en lenguaje C usando el compilador de la firma CCS (*Custom Computer Services, Inc*), versión 4.068 y el entorno de desarrollo usado fue MPLAB (*Microchip Technologic, Inc*) versión 8.3.

3.2.2 BLOQUE FUENTE DE ALIMENTACION

El dispositivo se debe alimentar con una fuente de 24v volts DC y 4A. La Fuente lineal diseñada cumple con los requerimientos DeviceNet protección *mis-wiring*. La Figura 16 muestra su implementación. Se agrega un transistor B1370 que actúa como interruptor en la ruta de alimentación para prevenir daños que pueden ocurrir debido a la perdida de la conexión de CANV-.

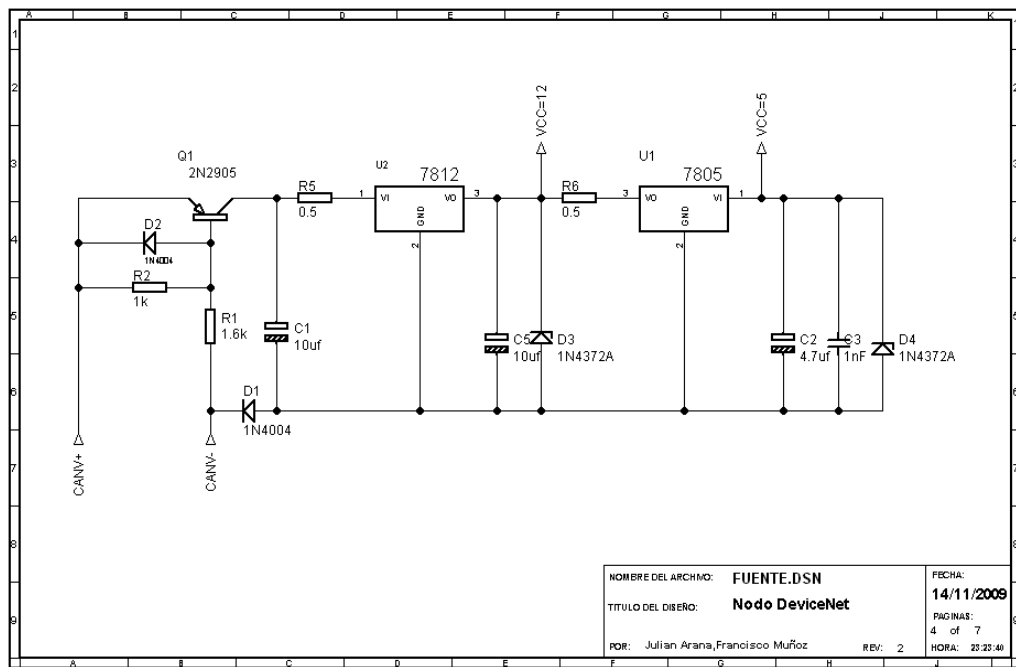


Figura 16: Diseño de fuente mis-wiring. Fuente de diseño propio

3.2.3 BLOQUE MÓDULO AB6001

Este bloque es el encargado de gestionar la comunicación con la red DeviceNet, en el mercado existen gran variedad de circuitos integrados capaces de gestionar completamente el protocolo DeviceNet, teniendo en cuenta las ventajas de este tipo de elementos que facilitan y reducen las tareas de implementación, diseño, configuración y puesta en marcha, se optó por usar uno de estos dispositivos en la parte de desarrollo del nodo DeviceNet de este trabajo de grado. El integrado usado para implementar el nodo es

el módulo ABIC6001 de la compañía HMS Industrial Networks AB, este integra en un sólo chip todos los elementos necesarios para la comunicación con la red DeviceNet. El módulo soporta velocidades 125kbps, 250kbps y 500kbps operación en el bus DeviceNet. Para mayor información acerca del módulo AB6001 Anexo D

3.2.4 BLOQUE NIVELES DE CORRIENTE

En este bloque se diseña un circuito para evitar que excesos de corriente dañen los puertos de entrada/salida el microcontrolador. La Figura 17 muestra su implementación con transistores 2n2222 junto con el diagrama de conexiones al microcontrolador.

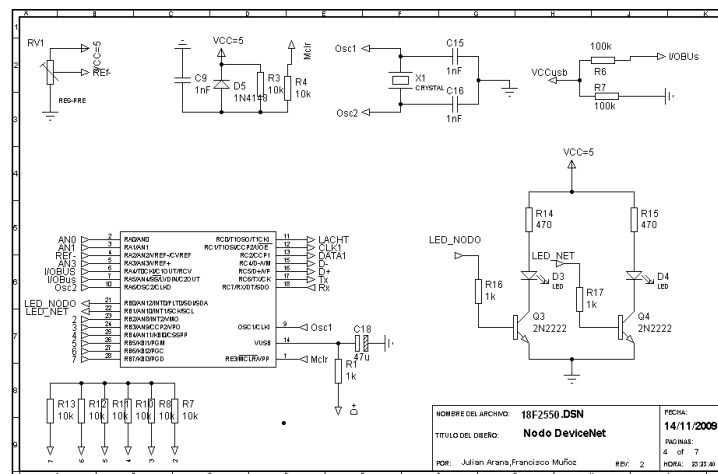


Figura 17: Circuito de protección de niveles. Fuente de diseño propio

3.2.5 BLOQUE AD420

Es el encargado de convertir los datos digitales provenientes del microcontrolador a señales analógicas de 4-20mA, encontradas ampliamente en ambientes industriales. Para el diseño de las salidas del nodo se utiliza el integrado AD420 de *Analog Device* que permite comunicarse microcontroladores mediante SPI. La Figura 18 muestra el circuito implementado en el nodo [10].

Características del integrado AD420

- Salida de corriente de 4-20 mA o de 0-24mA.
- 16bits de resolución.
- Interfaz serial 3.3 MBPS.
- Detección de falla en el lazo de corriente.
- Fuente de alimentación max 32V.
- Conversión sigma/delta ($\Sigma\Delta$).
- Conversión en 3ms.

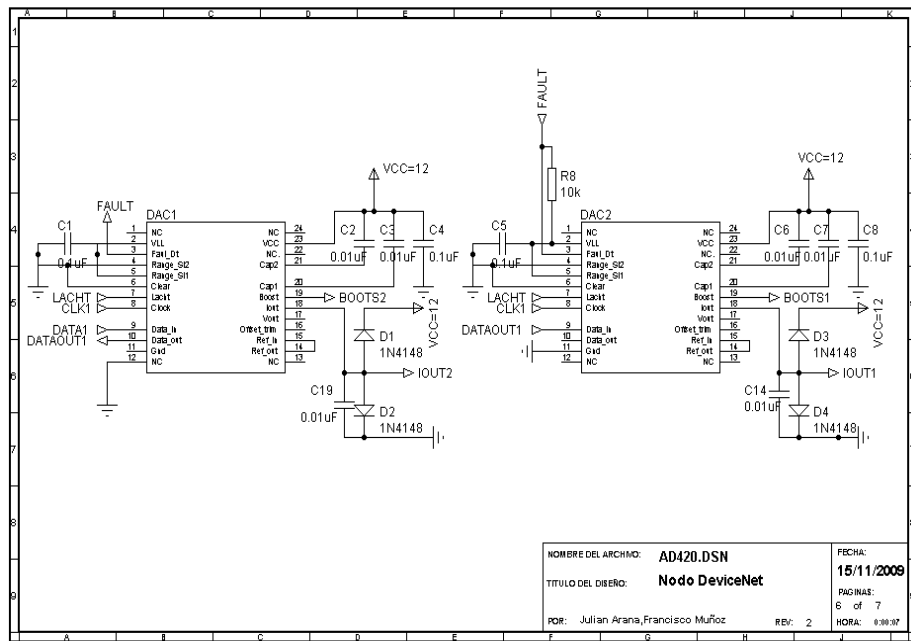


Figura 18: Circuito de conversión AD420. Fuente de diseño propio

3.2.6 BLOQUE POTENCIA DE SALIDA

En este bloque se diseña un circuito con base en transistores 2N3053 para reducir la potencia disipada en el integrado AD420, esto se logra evitando que el flujo de corriente sea manejado directamente por el integrado. El circuito mostrado en la Figura 19 permite que el AD420 maneje cargas con voltajes mayores.

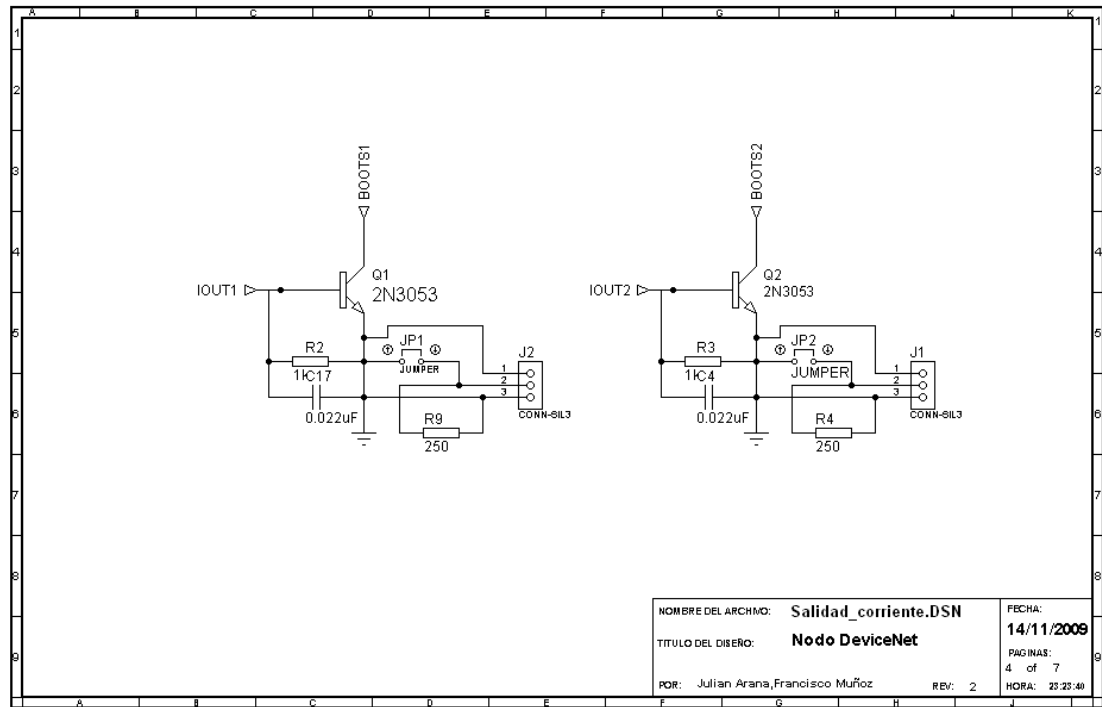


Figura 19: potencia. Fuente de diseño propio

3.2.7 BLOQUE ACONDICIONADOR DE SEÑAL

La Figura 20 implementa un acondicionador de señal, en el diseño se utilizan operacionales LM324 en configuración seguidor de tensión, el circuito garantiza que las señales provenientes de los sensores no tengan una impedancia mayor a 2.5KΩ, que puedan causar daño al microcontrolador.

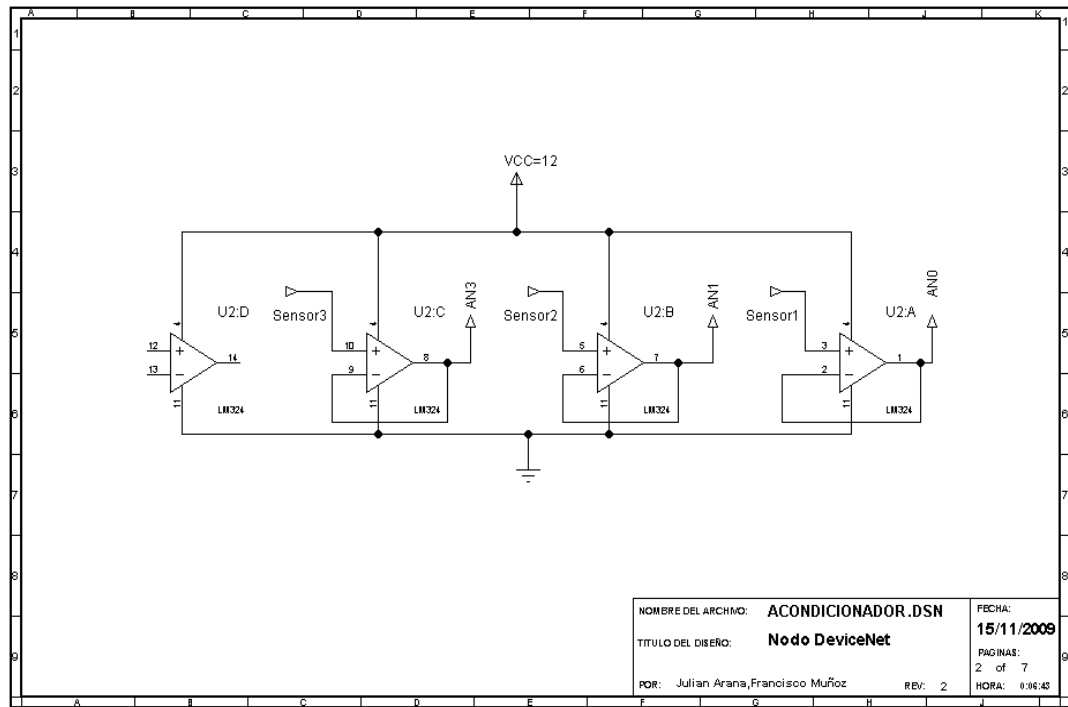


Figura 20: Acondicionadores de señales de entrada Fuente de diseño propio

3.2.8 BLOQUE COMUNICACIÓN USB

En el bloque 8 de la Figura 15 se implementa un sistema de comunicación USB (*Universal Serial Bus*). USB provee un estándar de bus serie para conectar una amplia variedad de dispositivos, este tipo de comunicación es la más implementada para el intercambio de información entre dispositivos y computadores, es uno de los puertos más difundido en la actualidad para el manejo de periféricos. USB define muchos tipos de comunicaciones para soportar el intercambio de datos como: *HID Human Interface Device Class* (HID) consiste en dispositivos (mouse, teclados ect.) que los humanos pueden usar para controlar computadores, *USB Communications Device Class* (CDC). CDC define muchos modelos de comunicación como emulación de la comunicación serial. El nodo analógico tiene implementado un puerto de comunicaciones USB 2.0 CDC que le permite ser configurado. En la Figura 21 se muestra el diagrama del puerto de comunicaciones (J1) [11].

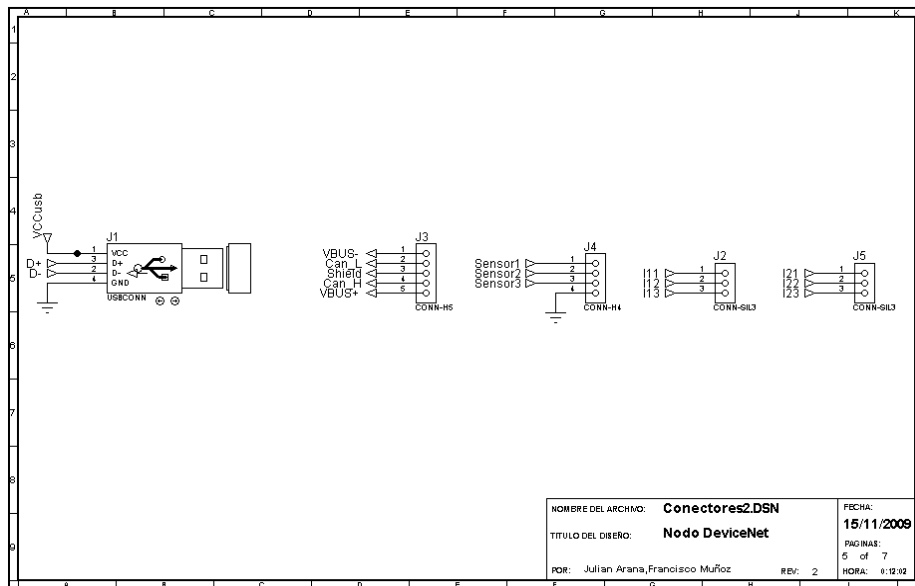


Figura 21: Puertos de comunicaciones

3.3 DIAGRAMA DE FLUJO DEL SOFTWARE

Los diagramas de flujo en las figuras 22, 23, 24 describen las diferentes etapas (numeradas en color rojo) que componen el algoritmo implementado en el nodo analógico DeviceNet. El primer diagrama de flujo hace referencia a la configuración del dispositivo (velocidad y dirección del nodo en el bus de campo, configuración del controlador PID), inicialización de parámetros del microcontrolador, protocolo Modbus y estado del bus de campo. El segundo diagrama de flujo explica los pasos de ejecución del algoritmo del controlador PID embebido en el nodo analógico y la configuración inicial del módulo AB6001. El tercer diagrama de flujo explica la conversión de datos A/D y la implementación del filtro promedio de datos de entrada. Para mayor información acerca de cada proceso remitirse al código fuente en el Anexo E.

- Etapa 1. inicialización de registros, interrupciones, A/D, puertos I/O, Timers e inicialización del sistema de comunicación Modbus.
- Etapa 2. Se realiza la detención automática de la velocidad de comunicación entre el módulo AB6001 y el microcontrolador 18F2550 esto se logra enviando desde el

microcontrolador al módulo paquetes de datos durante 10ms hasta que el módulo envía una respuesta válida al microcontrolador, se chequea la trama Modbus en el campo de error CRC. En esta etapa se configura el tamaño de datos de salida/entrada que va soportar el módulo como también dirección y velocidad que tomara el dispositivo en el bus de campo DeviceNet.

- Etapa 3. Bucle infinito donde se ejecutan periódicamente funciones de lectura y escritura de datos en el bus de campo DeviceNet, chequeo de estado del bus de campo.
- Etapa 4. Llama la función de lectura de datos de los canales analógicos del microcontrolador.
- Etapa 5. Monitorea constantemente el estado de la red tanto la línea de datos como la línea de alimentación de 24V. Envía como respuesta datos a los puertos del microcontrolador para dar información visual de lo que ocurre en el bus de campo.
- Etapa 6. Procesa los datos que devuelve la función LEE_ADC para enviarlos mediante la función escribir a múltiples registros (0x10) SCI IN área de datos producidos al área de datos consumidos FB IN del AB6001.
- Etapa 7. Verifica que los datos se hayan entregado al módulo AB6001 correctamente, si no hay error se continua con el siguiente proceso.
- Etapa 8. Aquí se comprueba el código de excepción en el campo de la trama de respuesta, si es no soportado por el módulo se genera el respectivo código de excepción.
- Etapa 9. Verifica el *buffer* de entrada para determinar si existe información proveniente del área de datos producidos FB OUT. Estos datos son ubicados en el área de datos consumidos SCI. Se accede a este registro mediante el envío del código Modbus de lectura de múltiple registros (0x03). Si no se presenta error de excepción en la trama de respuesta del módulo AB6001 se continua el proceso.
- Etapa 10. Si se presenta un código de error de excepción en la lectura de datos se procede a ejecutar la lectura nuevamente.
- Etapa 11. Se verifica el estado de la red para determinar mediante el código 0x05 si el bus DeviceNet se encuentra *on-line*, esto indica que los datos presentes en la

- Etapa 16. Definición de variables de parámetros de PID: ganancia proporcional (KP), tiempo integral (TI), tiempo derivativo (TD), *filtro del setpoint (b)*, tiempo de muestreo, filtro de la parte derivativa (n), *spam* y cero de las variables de proceso.
- Etapa 17. Lectura de las variables de proceso, mediante la función LEE _ADC la cual retorna los valores de la variable de proceso.
- Etapa 18. Ejecución del algoritmo PID y actualización de las variables de estado. El anexo F está dedicado a explicar el modelo matemático del PID serie con técnica AWBT implementado en el nodo analógico.
- Etapa 19. Lee el estado de la red. Esta función puede retornar 0x00 (indica que la fuente 24V del bus se encuentra apagada off) o 0x04 (indica que existe un problema en la línea de datos off-line), indicando con cualquiera de estos dos valores una falla de comunicación, por lo que el esfuerzo de control enviado a la salida del nodo es calculado por el algoritmo del PID tipo serie embebido en el microcontrolador. Esta etapa le permite al nodo tener la característica de control distribuido “tolerancia a fallas”.
- Etapa 20. Esta función recibe el esfuerzo de control calculado por el algoritmo PID, para la adecuación de los datos y enviarlos a la función DAC420 para generar la señal de salida en el nodo.
- Etapa 21. La función lee el estado de bus, si esta retorna 0x05 indica que el bus se encuentra en buen funcionamiento, de esta manera el nodo determina si el esfuerzo de control proviene del maestro o si es el nodo el encargado de generar el esfuerzo de control.
- Etapa 22. Esta etapa es útil para que el nodo pueda monitorear el esfuerzo de control en todo momento. Esto evita que haya cambios abruptos en el esfuerzo de control cuando el bus pasa de *off-line* a *on-line* y viceversa. Se implementa la técnica AWBT que minimiza este comportamiento evitando transitorios en la señal de salida a causa de la conmutación cuando el bus de campo entra en estado *off-line*.
- Etapa 23. Esta función realiza la comunicación inicial entre el módulo AB6001 y el microcontrolador para establecer parámetros de velocidad y cantidad de bits de inicio en la trama Modbus RTU.

- Etapa 24. Envía un dato utilizando la función Modbus 0x10 escribir a un único registro.
- Etapa 25. Chequea la respuesta del módulo durante 10ms.
- Etapa 26. Si la respuesta del módulo en el campo de datos de la trama Modbus RTU coincide con los datos enviados por el microcontrolador continua con el siguiente proceso si no es así retorna a la etapa 24.
- Etapa 27. El módulo detecta la velocidad a la que se comunicará con el microcontrolador.
- Etapa 28. Se realiza lectura mediante la función 0x04 al registro 0x5001, si esta función retorna 0x01 le indica al microcontrolador que el módulo AB6001 se encuentra en operación normal, si no es así realiza la lectura nuevamente.
- Etapa 29. Se configura la cantidad de datos de entrada y salida.

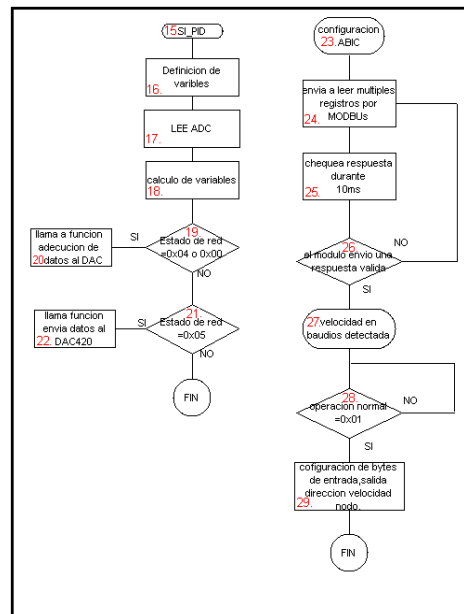


Figura 23: Diagrama de flujo de funciones PID y configuración AB6001. Fuente de diseño propio

- Etapa 30. Encabezado de la función DAC420.
- Etapa 31. Lee los datos provenientes de la aplicación del maestro (Scanner 1769-SDN) o los datos del controlador (esfuerzo de control).

- Etapa 32. Envía datos al AD420 bit a bit mediante comunicación SPI.
- Etapa 33. Encabezado de la función Lee ADC.
- Etapa 34. Lee los datos del convertor A/D AN0 (canal 0), AN1 (canal 1), AN3 (canal 3).
- Etapa 35. Filtrado lineal promedio de los datos de cada canal.
- Etapa 36. Retorna los datos filtrados.

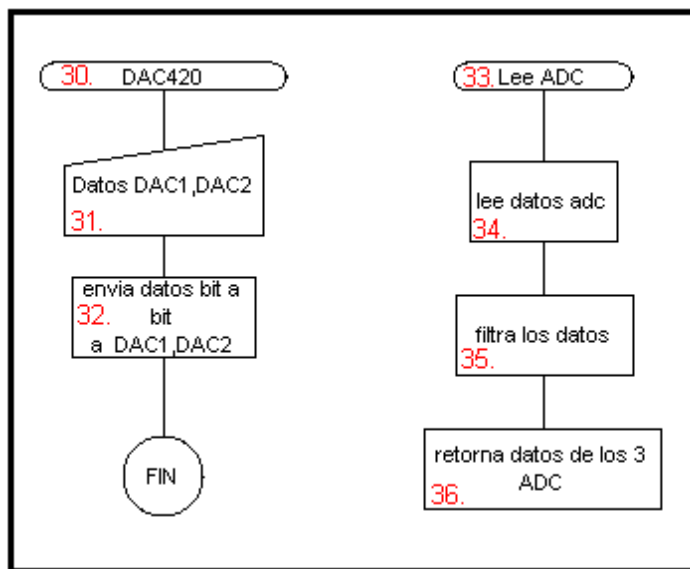


Figura 24: Diagrama de flujo funciones DAC420, Lee ADC. Fuente de diseño propio

4. PRUEBAS Y VALIDACIÓN DEL SISTEMA

Luego de realizado el diseño e implementación del nodo analógico propuesto en el capítulo 3, se procede a realizar la comunicación con el bus de campo DeviceNet, instalado en el laboratorio de control de procesos del PIAI, por medio de la configuración y monitoreo a través del RSLinx, RSnetworx y RSLogix 500. Así mismo se realizaron las pruebas del nodo en el bus de campo y pruebas al controlador industrial PID del nodo analógico cuando la red entra en fallo y operación normal. Esto último con el objetivo de validar la característica del nodo analógico de tolerancia a fallas en el esquema de control distribuido.

4.1 INTEGRACIÓN DEL NODO DEVICENET A LA RED DEVICENET

La red DeviceNet del PIAI se encuentra constituida por una serie de dispositivos básicos que permiten su funcionalidad. La Figura 25 muestra un diagrama de la arquitectura física de la red DeviceNet instalada en los laboratorios de PIAI. Los pasos a seguir para las configuraciones iniciales del nodo analógico en la red DeviceNet pueden verse en el Anexo G.

Los elementos que conforman la red DeviceNet del PIAI son:

- El PLC Micrologix1500 y el módulo scanner 1769SDN
- Un módulo de comunicaciones 1770KFD
- Una fuente de alimentación AC/DC Dinrail Mount Power Supply, DeviceNet, N+1 Redundancy, 100 W, 24V (número de parte 1606-xldnet4)
- Un nodo esclavo DeviceNet de entradas y salidas discretas
- Un nodo DeviceNet de entrada y salidas analógicas.
- Cable delgado para las líneas de derivación (Cable de derivación KwikLink serie 1485K)
- Cuatro tomas KwikLink abiertas 1485P-P1H4-T4, cuatro tomas KwikLink cerradas 1485P-P1E4-R5 dos terminadores de red KwikLink 1485P-P1H4-T4 [5].

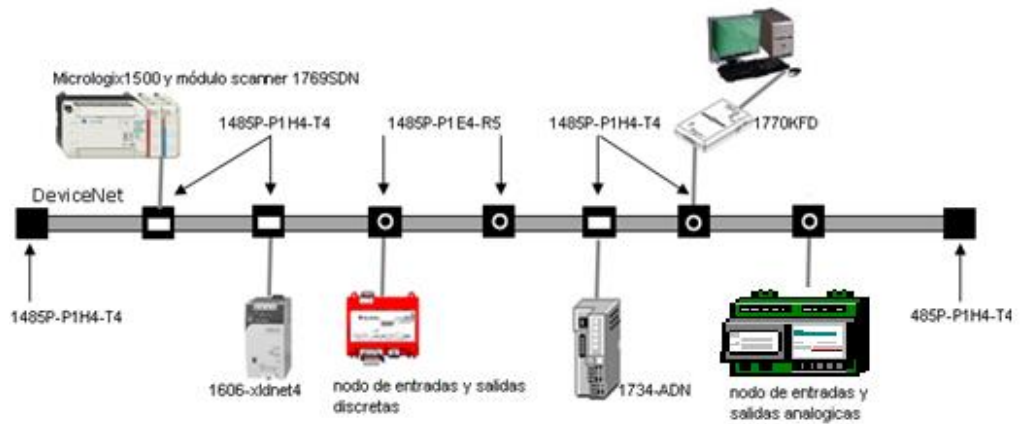


Figura 25: del bus de campo Nodo DeviceNet fuente modificada de [5]

4.2 Pruebas del nodo DeviceNet en el bus de campo

Las pruebas del dispositivo en el bus de campo requieren de la realización de tareas iniciales de configuración que permitan determinar en qué estado de funcionamiento se encuentra el dispositivo. Para tal fin el nodo cuenta un *led* rojo y un *led* verde que le permiten observar cómo está respondiendo el bus de campo, la Tabla 18 explica el significado de cada *led*.

1. Verificación de la configuración del sistema
 - Verificar la corriente de la fuente de alimentación 24 voltios DC.
 - Verificar la alimentación de la red DeviceNet.
 - Verificar que el scanner (1769SDN) se encuentre conectado a la red.
 - Verificar que el módulo 1770KFD se encuentre conectado a la red y al computador donde estén instalados los programas de gestión de la red de Rockwell Software.
2. Suspender la alimentación. Antes de insertar cualquier módulo se debe interrumpir la fuente de alimentación para evitar daños en los equipos.
3. Conectar el nodo analógico a la red DeviceNet.

4. Conectar a AN0 del nodo analógico la señal (4-20mA) proveniente del transmisor de presión YOKOGAWA EJA110 y su respectiva tierra.
5. Conectar a la salida out1 del nodo analógico al Pin5 (1-5 voltios) del conector J2 de la servo válvula AMC-100/AMC-101.
6. Aplicar alimentación al sistema
7. Asegurarse de que el software de programación y los equipos están listos
8. Usar RSLinx para configurar los *drivers*.
9. Usa RSNetWorx para configurar el módulo1769SDN y los dispositivos DeviceNet
10. Usar RSLogix para crear el proyecto (ladder Logic).
11. Iniciar el sistema
 - a) Aplicar alimentación.
 - b) Descargar el programa poniendo el controlador en modo Run (Run mode).
 - c) En un inicio normal de los módulos y la red el led verde de los nodos estará encendido.
12. Monitorear el comportamiento de los dispositivos y de la red para saber si opera normalmente.

Tabla 18: Estado del Nodo en el bus de campo

	LED	Estado	Descripción
Estado del módulo	ROJO	OFF	Dispositivo apagado
		ON	Dispositivo encendido
Estado de la red	VERDE	OFF	Red apagada
		ON	Red encendida
		INTERMITENTE	Conexión no establecida

4.3 Pruebas del controlador PID

Las pruebas realizadas al controlador industrial PID serie embebido en el nodo se efectuaron en la planta de tanques interactuantes con un modelo de primer orden más tiempo muerto (POMTM). Para el desarrollo de las pruebas se requieren los parámetros de sintonización del controlador (KP, TD, TI) los cuales fueron obtenidos a partir del

software RTAI-Lab del laboratorio de control de procesos. Los valores del controlador y del modelo POMTM de la planta, para el control de nivel en WT2 en la planta de tanques interactuantes (Figura 26), se encuentran en la Tabla 19.

Tabla 19: Constantes de sintonización del PID y constantes del modelo de la planta

ITAE Kaya and sheib	KP	TI	TD
	4.62602	77.13874 seg	0.41363 seg
Modelo POMTM de la planta	K	Tao	Tiempo muerto(Tm)
	8.4381	77.367 seg	1.73 seg

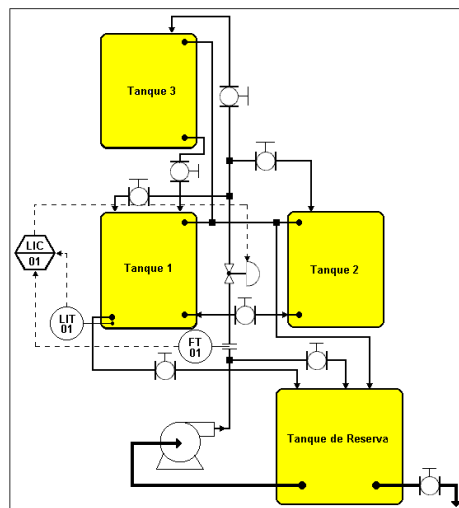


Figura 26: Diagrama P&ID del control de nivel de la planta de tanques interactuantes

4.3.1 Pruebas del controlador del nodo DeviceNet ante cambios en el Setpoint

La Figura 27 muestra el comportamiento de la variable de proceso (VP) ante cambios del *Setpoint* (SP) con la estrategia AWBT habilitada. En T1 el proceso se encuentra estable en 20mm, entre el tiempo T2 y T3 se observa que al efectuar un cambio de 30mm en el SP la variable de proceso presenta seguimiento al SP, en el tiempo T5 se efectúa un cambio en el SP desde 170mm a 70mm donde se observa que VP se estabiliza a 70mm.

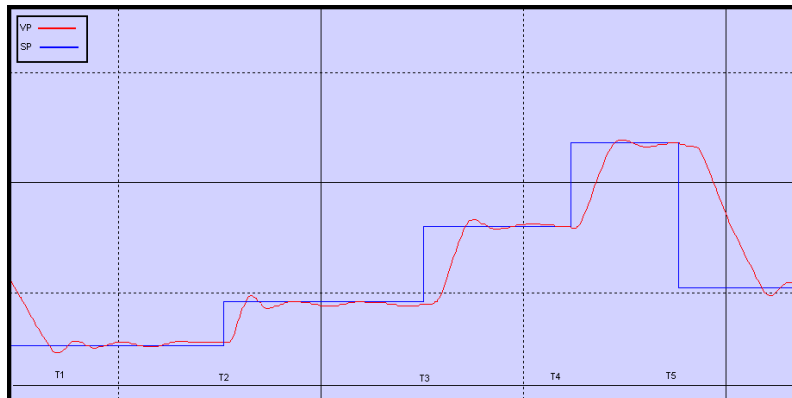


Figura 27: Respuesta de la variable de proceso ante cambios en el setpoint modo automático y AWBT activado

4.3.2 Pruebas del controlador del nodo ante cambios en el Setpoint, AWBT habilitado

La Figura 28 muestra la respuesta de la variable de proceso (VP) ante cambios en el Setpoint (SP), estrategia AWBT habilitada. VP presenta seguimiento ante cambios en el SP estando el controlador en modo automático, en T1 se conmuta a modo manual (MA) entre los tiempos T1 y T2 en este tiempo se modifica la variable de proceso en forma manual, en T2 se conmuta nuevamente a automático se observa que la variable de proceso tiende a estabilizarse alrededor del valor de SP, entre T2 y T3 se efectúan cambios en SP, la variable de proceso realiza el seguimientos del SP, en T3 se conmuta nuevamente a modo manual hasta el tiempo T4 y se efectúa el cambio de VP de forma manual, cuando se conmuta a automático en T4 se observa que la VP tiende a seguir el SP sin ningún esfuerzo y de una manera rápida.



Figura 28: Respuesta de la variable de proceso ante cambios en el setpoint cambios de modo automático a manual y AWBT activado

4.3.3 Pruebas del controlador del nodo ante cambios en el Setpoint, AWBT deshabilitado

La Figura 29 muestra VP ante cambios en SP con estrategia AWBT desactivado, entre T1, T2 y T3 VP presenta seguimiento ante cambios en el SP en modo automático, en T3 se conmuta a modo manual y se efectúa el cambio en VP manualmente, en T4 se conmuta nuevamente al modo automático VP se observa que la VP presenta un lento seguimiento del SP.

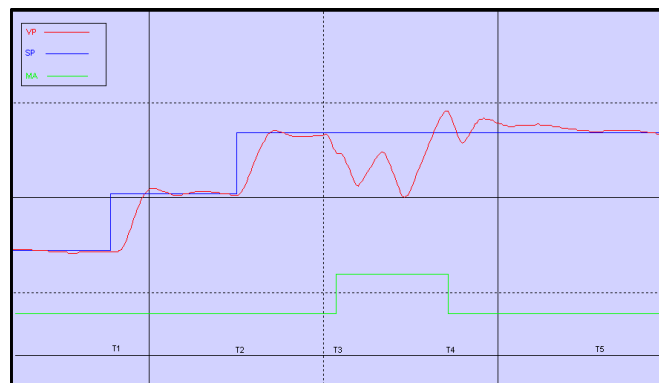


Figura 29: Respuesta de la variable de proceso ante cambios en el setpoint cambios de modo automático a manual y AWBT desactivado

Del análisis realizado en las figuras 27 y 28 se puede concluir que la técnica AWBT garantiza que la respuesta y seguimiento de VP se haga de una manera eficiente cuando se efectúa la conmutación entre modo manual y modo automático. El débil seguimiento

de VP en T4 visto en la Figura 29, se debe a que el algoritmo de control produce una señal en modo manual que puede ser diferente de la señal de control generada en modo automático. Entonces, para evitar éste, es necesario asegurar que las dos salidas coincidan en el momento de la conmutación, para ello en modo manual el controlador debe realizar un buen seguimiento del valor en manual, si se logra esto se consigue una “transferencia suave” o sin saltos “*bumpless*” al pasar al modo automático [11].

4.3.4 Pruebas del controlador del nodo en operación normal, AWBT activado

Para las pruebas 4.3.4 y 4.3.5 es necesario sintonizar el bloque PID serie de Rslogix 500 con los parámetros obtenidos de la Tabla 18. La Figura 30 muestra el programa del diagrama en escalera básico para realizar las pruebas de conmutación del bus de campo *on-line* a *off-line* y pruebas del bloque PID de Rslogix.

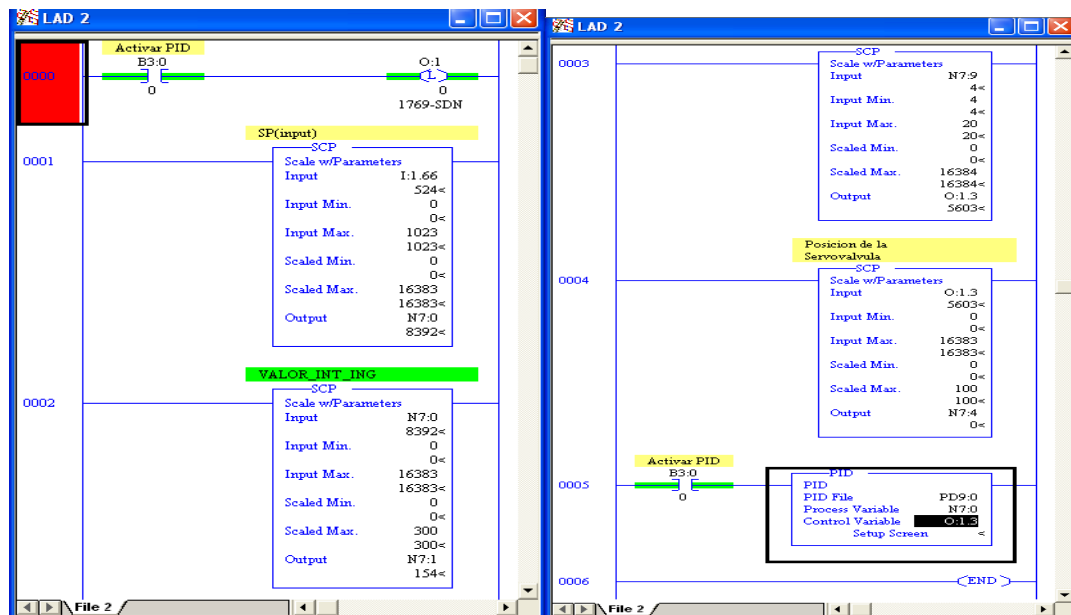


Figura 30: Diagrama en escalera en el PLC controlador primario

4.3.5 Pruebas del controlador del nodo en el bus de campo ante fallas en el PLC, AWBT habilitado.

En la sección 4.3.1 se explicó el funcionamiento del controlador en modo manual y modo automático activando y desactivando la estrategia AWBT directamente desde el nodo analógico, esta prueba es de vital importancia ya que la conmutación entre manual y automático es la que se lleva a cabo cuando el bus de campo presenta fallas en la conexión o ausencia de la fuente de poder. La Figura 31 muestra el comportamiento del nodo analógico cuando se realiza la conmutación del PLC (controlador primario mirar arquitectura Figura 14). En T1 se cambia SP(modificable desde el bloque PID de Rslogix) a 140 mm en T2 la VP tiende a seguir a SP, en T3 se apaga el PLC, en la figura se observa que entre los tiempos T3 y T4 el nodo mantiene la VP en el SP fijado debido a que el nodo siempre esta monitoreando lo que está sucediendo en el proceso, en T4 nuevamente se enciende el PLC, y se presenta una pequeña caída en VP debido a que el PLC no realiza el seguimiento a las variables del proceso, en T5 el PLC estabiliza el sistema al SP requerido.

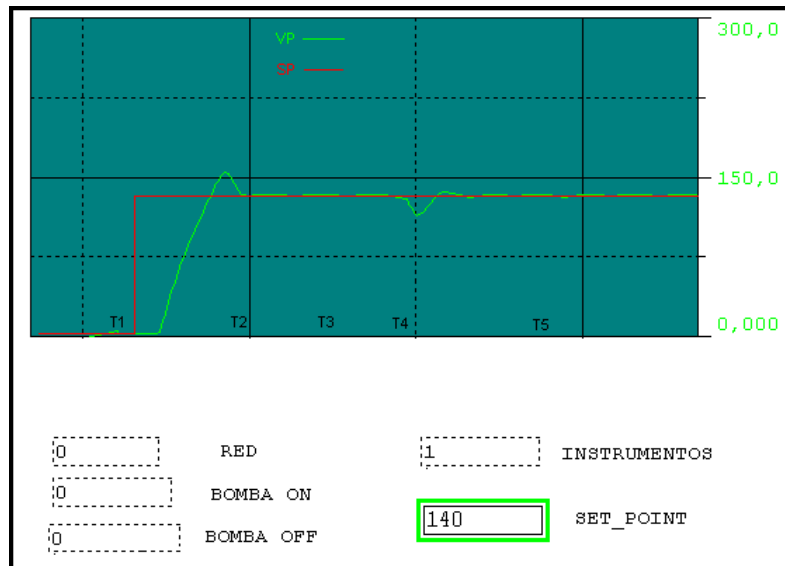


Figura 31: Respuesta de la variable de proceso ante fallas en PLC controlador primario AWBT activado

4.3.6 Pruebas del controlador del nodo en el bus de campo, AWBT deshabilitado

En Figura 32 se muestra el comportamiento de la variable de proceso, hasta el Tiempo T1 VP realiza el seguimiento del SP que es enviado por la aplicación que gestiona y controla el bus de campo, en T1 el bus de campo entra en estado off-line, en la gráfica se observa que la VP tiene un sobre impulso elevado, alargamiento del transitorio, mal seguimiento de SP, y por consiguiente saturación en el actuador entre T1 y T2 debido a la eliminación de la estrategia AWBT. Se concluye que la implementación de la técnica AWBT disminuye en gran parte la presencia de saltos abruptos en la variable proceso por la conmutación que se efectúa cuando el bus cambia de *on-line* a *off-line*, puesto que hace que la salida del control PID sea lo más cercana posible a la señal de control enviada por el controlador del PID del PLC del bus de campo; adicionalmente permite un buen seguimiento de la consigna y disminución de la saturación del actuador.

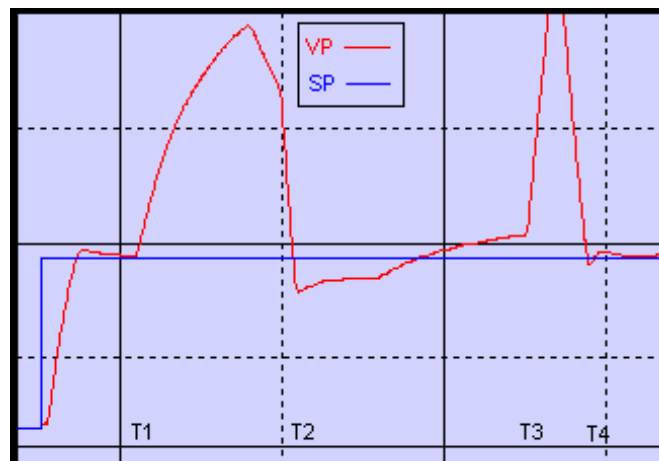


Figura 32: Respuesta de la variable de proceso ante cambios fallas en el bus de campo AWBT desactivado

4.3.7 Pruebas del controlador del nodo ante fallas en las líneas de datos del bus de campo, AWBT habilitado

En la Figura 33 se muestra el comportamiento del nodo DeviceNet ante fallas en las líneas de datos del nodo, en T1 se fija un SP en T2 la VP se estabiliza, entre los tiempos

T2 y T3 se abre la línea de datos con el fin de simular falla en el bus de campo, se puede observar que durante el tiempo que está presente la falla el nodo mantiene VP controlada.

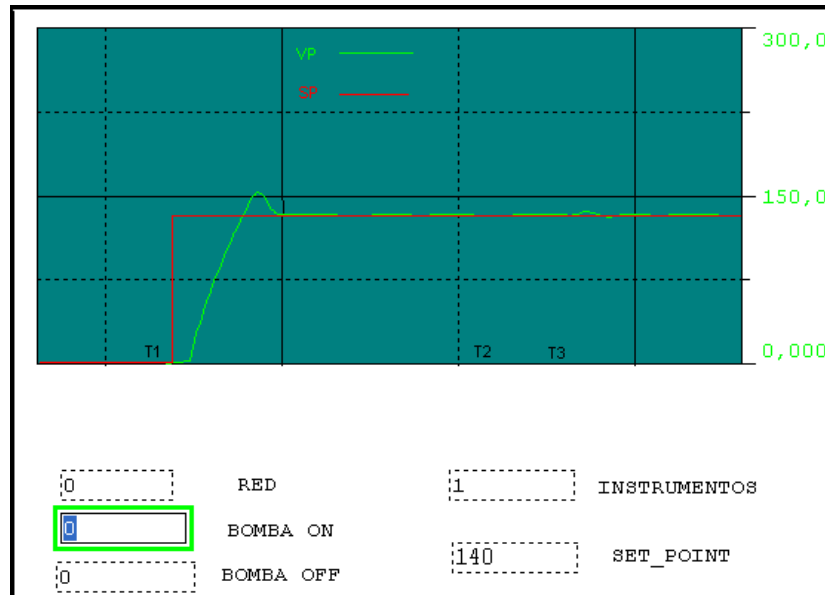


Figura 33: Comportamiento del nodo DeviceNet ante fallas en la línea de datos del bus de campo

De las pruebas y resultados realizados se puede concluir que el nodo DeviceNet cumple con los requerimientos exigidos al momento de aplicar los criterios de automatización en control distribuido al caso de estudio: planta de tanques interactuantes. En cuanto a las técnicas PID AWBT implementadas en el nodo disminuye en gran parte la presencia de saltos abruptos en la variable controlada por la conmutación en la señal de referencia entre sus modos remoto y local (bump transfer), puesto que hace que la salida del control PID sea lo más cercana posible a la señal de control enviada por el PLC (controlador primario) y permite un buen seguimiento de la consigna.

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

A lo largo de este trabajo de grado se pudo observar en primer lugar las ventajas que presentan los esquemas de control distribuido frente a los sistemas de automatización clásicos. Los sistemas de control distribuido permiten la ejecución de rutinas en paralelo ejecutadas por un controlador inteligente (PLC, computador) para evitar al máximo fallas en el proceso. El laboratorio de control de procesos del PIAI cuenta con una variedad de plantas donde es posible implementar estrategias de control distribuido. En el capítulo 3 se formularon una serie de criterios que permiten llevar un proceso a un esquema de control distribuido. Para el desarrollo de este trabajo se tomó como caso de estudio la planta de tanques interactuantes.

Para el desarrollo del control distribuido en la planta de tanques interactuantes se formularon una serie de requerimientos mínimos, las señales del proceso debían ser llevadas a un bus de campo, en este caso DeviceNet y también debía contar con un controlador industrial PID, para tal fin se diseñó un nodo analógico que cumple con los requerimientos planteados (implementación de un control distribuido en la planta de tanques interactuantes del laboratorio de control de procesos del Programa de ingeniería en Automática), las pruebas realizadas al dispositivo permitieron observar el comportamiento de la variable de proceso ante los fenómenos reales que se presentan con los controladores (*windup* y *bump transfer*), la implementación de esta estrategia en el controlador ayuda notablemente a que la variable de proceso siga al *setpoint* de una manera rápida y sin sobresaltos.

Debido a que la solución de la aplicación de control distribuido exigía un módulo DeviceNet de características muy particulares y que no se encontró una solución hardware en el mercado que cumpliera con todos estos requerimientos, se diseñó e implementó una solución puntual. Con el desarrollo del nodo analógico y las pruebas satisfactorias se puede concluir que es posible dar soluciones puntuales a cada necesidad requerida, y que soluciones, como la obtenida en el presente trabajo de grado, se pueden

integrar en una gran variedad de dispositivos de la industria que no tienen comunicación a redes de bus de campo.

La aplicación de los criterios, es una herramienta importante, pues permite descubrir las compatibilidades entre la instrumentación existente en el proceso y la tecnología del mercado, con el criterio: valoración de la estructura encontrada respecto a los sistemas de control distribuido, se encuentra una necesidad en DCS, partiendo de los requerimientos y el análisis de la instrumentación presente en los procesos, con el criterio soluciones y equipos para control distribuido: se parte de unos conocimientos técnicos en dispositivos DCS para dar solución a una necesidad que cumpla con especificaciones distribuidas, con el criterio: tecnologías en control distribuido, se puede valorar las tecnologías de vanguardia instaladas tanto a nivel global como a nivel local que permitan escoger las más utilizadas, ya que éstas son sinónimo de calidad, finalmente con la combinación de todos los criterios se llega a una solución que permita seleccionar la mejor arquitectura de control distribuido que permita enmarcar un proceso.

Fue necesaria la implementación de la técnica AWBT controlador PID serie embebido, puesto que se requería que el controlador secundario del nodo realizara un seguimiento de la manera más rigurosa al esfuerzo de control del controlador primario, para que en el momento que se efectuaran cambios en el bus de campo, entre on-line y off-line debido a fallas, la conmutación entre los dos controladores fuese suave, sin sobre saltos, y la VP no se viese afectada por la falla en la red o en el controlador primario.

Se puede concluir que esta primera implementación de un sistema DCS, es el comienzo de un proceso de modularización, que permite observar cada proceso como un bloque funcional y sirve de principio para que en el futuro, se puedan realizar aplicaciones DCS más complejas que abarquen más de un proceso.

6. RECOMENDACIONES Y TRABAJOS FUTUROS

6.1. RECOMENDACIONES

Para el desarrollo de este trabajo se hizo necesario el diseño e implementación de un nodo analógico el cual tiene características eléctricas, configuración y desempeño, que deben ser tenidos en cuenta antes de situarlo en la red.

6.2. TRABAJOS FUTUROS

Con la implementación del DCS al caso de estudio se da inicio a la implementación del control distribuido en una de las prácticas del laboratorio, a futuro se debe buscar la implementación de DCS a otras plantas.

Implementación de sistemas DCS a nivel de datos para centralizar la mayor cantidad de información de los procesos existentes en el laboratorio.

Desarrollo de dispositivos que posean características de control distribuido en otro tipo de redes como Ethernet, nodo DeviceNet de I/O discretas.

BIBLIOGRAFIA

- [1] "Control de Procesos Industriales. Control Distribuido". (Consultado en Abril de 2009). pp. 26-27. <http://www.depeca.uah.es/wwwnueva/docencia/IT-INF/ctr-eco/Tema4.pdf>.
- [2] Gutiérrez, N. ANACONA, J. Respuesta para información acerca de Ambiente industrial. [En línea]. Mensaje para: Francisco Muñoz. 15 de agosto de 2009. [Citado el 10 de agosto de 2009]. Comunicación personal.
- [3] Serra, S. Barban, Kawaguchi, J. Implementación de un Sistema de Control Utilizando Tecnología FOUNDATION FIELDBUS para una Planta de AMINAS TECNA SA. (Consultado en Abril de 2009)
<http://www.melectrico.com.ar/biblioteca/suscripto.php?libro=2hidrocarburos2003-102&ext=zip&seccion=8>.
- [4] "Instalación de Sistemas Automatizados y Datos" Universidad de VIGO. Departamento de Ingeniería de Sistemas y Automática. (Consultado en abril de 2009). http://tv.uvigo.es/uploads/material/Video/1362/ISAD_Tema1.pdf.
- [5] Gutiérrez, N. "Red de Sensores de Proximidad para el Laboratorio de Instrumentación Industrial" Universidad del Cauca. Departamento de Ingeniería en Automática Industrial. 2008.
- [6] Segura, J. Respuesta para información acerca de sistemas SCADA. [En línea]. Mensaje para: Francisco Muñoz. 15 de agosto de 2009. [Citado el 10 de agosto de 2009]. Comunicación personal
- [7] Segura, J. Criterios de Evaluación para la Selección de Herramientas Software de Control y/o Supervisión de Procesos Industriales SCADA. Universidad del Cauca. Facultad de Programa de Ingeniería en Automática Industrial. 2009.
- [8] Murillo J. E. Hernández J. P. Rocha G. "Buses de Campo y Protocolos". Monografía. Universidad de Costa Rica. Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería Eléctrica. Departamento de Automática. 2005. pp. 3.
- [9] Rosado, A. "Sistemas Industriales Distribuidos: una filosofía de automatización". Universidad de Valencia. Dpto de Ingeniería Electrónica. Apuntes de teoría. (Consultado en noviembre 2009) http://www.calsi.com/doc_tec/11.pdf.
- [10] "Serial Input 16-Bit,4-20mA Analog Device". Datasheet. (Consultado en noviembre 2009) http://www.analog.com/static/imported-files/data_sheets/ad420.pdf.

[11] "ANYBUS. Anybus-IC-5124-ABIC_DG_1_52_ROHS". Datasheet. (Consultado en noviembre 2009) <http://www.anybus.de/PDF/Anybus/ABICEVB-1.01e.pdf>.