

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE
CONTROL PARA LA DOSIFICACIÓN AUTOMÁTICA DE
REACTIVOS DE PROCESO EN UNA PLANTA DE
TRATAMIENTO DE AGUAS BLANCAS**

Presentado ante la ilustre
Universidad Central de Venezuela
por el Br. Jorge E. Berbis M.
para optar al Título de
Ingeniero Electricista

Caracas, 2012

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE CONTROL PARA LA DOSIFICACIÓN AUTOMÁTICA DE REACTIVOS DE PROCESO EN UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS BLANCAS

Profesora Guía: Ing. Mercedes Arocha
Tutor Industrial: Ing. Carlos Di Yorio

Presentado ante la ilustre
Universidad Central de Venezuela
por el Br. Jorge E. Berbis M.
para optar al Título de
Ingeniero Electricista

Caracas, 2012

CONSTANCIA DE APROBACIÓN

Caracas, 07 de noviembre de 2012

Los abajo firmantes, miembros del Jurado designado por el Consejo de Escuela de Ingeniería Eléctrica, para evaluar el Trabajo Especial de Grado presentado por el Bachiller Jorge E. Berbis M., titulado:

**“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE CONTROL PARA
LA DOSIFICACIÓN AUTOMÁTICA DE REACTIVOS DE PROCESO EN
UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS BLANCAS”**

Consideran que el mismo cumple con los requisitos exigidos por el plan de estudios conducente al Título de Ingeniero Electricista en la mención de Electrónica, y sin que ello signifique que se hacen solidarios con las ideas expuestas por el autor, lo declaran APROBADO, y con Mención Honorífica.

Prof. Tamara Pérez
Jurado

Prof. Alejandro González
Jurado

Prof. Mercedes Arocha
Prof. Guía



ACTA

Quienes Suscriben, Miembros del Jurado designado por el Consejo de Escuela de Ingeniería Eléctrica de la Facultad de Ingeniería, de la Universidad Central de Venezuela para examinar el Trabajo Especial de Grado presentado por el Bachiller **JORGE E. BERBIS M.**, Cédula de Identidad N° 17.270.112, bajo el título **“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE CONTROL PARA LA DOSIFICACIÓN AUTOMÁTICA DE REACTIVOS DE PROCESO EN UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS BLANCAS”**; a los fines de cumplir con el requisito legal para optar al grado de Ingeniero Electricista, dejan constancia de lo siguiente:

Considerando que el Trabajo Especial de Grado presentado y defendido por el Bachiller en referencia, presenta un grado de originalidad y excelencia tanto en su contenido como en su presentación formal que lo convierte en una fuente referencial útil, acuerda por unanimidad solicitarle a las autoridades correspondientes de la Facultad de Ingeniería, tengan a bien otorgar **MENCIÓN HONORÍFICA**, al Trabajo Especial de Grado antes mencionado.

En Caracas, a los siete (07) días del mes de noviembre de 2012.

Prof. Tamara Pérez
Jurado

Prof. Alejandro González
Jurado

Prof. Mercedes Arocha
Prof. Guía

DEDICATORIA

A mis padres, Gladys y Ricardo.

A mi hermana, Gabriela.

A mi novia, Veriuska.

A mis abuelas, Gregoria y Carmen.

A mi familia.

RECONOCIMIENTOS Y AGRADECIMIENTOS

A mi madre por el apoyo, cariño, y amor incondicional, por todo el sacrificio y el esfuerzo invertido para incentivar me a ser un profesional, por su crianza y por todo el soporte durante mi vida.

A mi padre por su entrega, sacrificio y voluntad, por ser fuente de inspiración para tomar esta carrera como base fundamental de mi vida, por el cariño dado y los valores enseñados.

A Gabriela, por el cariño brindado y por recordarme siempre que tengo a alguien importante a quien dar el ejemplo.

A Veriuska, por ser pilar fundamental de este logro, mi mayor soporte y motivación durante esta etapa de mi formación personal y académica.

A Luis Sarco y Elena Vales, a quienes agradezco la confianza, asistencia y el apoyo brindado durante el desarrollo de este proyecto.

Al Profesor Carlos Di Yorio, por la confianza y la oportunidad brindada, por la disponibilidad y las enseñanzas dadas en el campo industrial.

A la Profesora Mercedes Arocha, a quien hago un reconocimiento por todo el esfuerzo y entrega a mi enseñanza de sistemas de control. Especialmente agradezco por todo el apoyo, amistad y motivación brindada, así como por haber sido mi profesora guía en la carrera y durante este proyecto.

A la Profesora Tamara Pérez, a quien agradezco la asesoría, colaboración y tiempo empleado cuando requería de ayuda para el desarrollo de este proyecto.

Al Profesor Froilan Lozada, por darme la oportunidad de realizar pruebas de publicación web de sistemas supervisorios y de adquisición de datos en el servidor de la Facultad de Ingeniería.

A la Ing. Deixy Maldonado de Invensys Wonderware, por todo el soporte y colaboración prestada.

Al Ing. Nelson Albarrán de LIPESA, S.A., por el aporte y las explicaciones referentes al proceso de tratamiento de aguas blancas, así como por la disponibilidad en todo momento durante la implementación de este proyecto.

Berbis M., Jorge E.

**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE CONTROL
PARA LA DOSIFICACIÓN AUTOMÁTICA DE REACTIVOS DE
PROCESO EN UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS
BLANCAS**

Prof. Guía: Ing. Mercedes Arocha. Tutor Industrial: Ing. Carlos Di Yorio. Tesis. Caracas U.C.V. Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería Eléctrica. Ingeniero Electricista. Opción: Electrónica. Institución: EDT Ingeniería. Trabajo de Grado. 2012. 135 páginas + 31 páginas de Anexos.

Palabras claves: Dosificación; Floculante; Coagulante; Turbidez; Flujo; Sistema de control; PLC; HMI, SCADA web.

Resumen. En este trabajo especial de grado se realizó el diseño e implementación de un sistema de dosificación automática del químico coagulante y el químico floculante, basado en la medición de turbidez y caudal del agua a tratar en la planta de tratamiento de aguas blancas Planta Río Neverí de PDVSA, empleando sensores de turbidez y caudal, así como controladores y pantallas táctiles HMI ubicadas en tableros de control correspondientes. Además, se lleva a cabo la proyección de un sistema SCADA web, por lo cual se desarrolla una interfaz HMI para el SCADA local, publicada posteriormente en un servidor web que permitió tener acceso al proceso desde computadores clientes ubicados en diferentes servidores con conexión a Internet. La implementación del sistema de dosificación automática de químicos, permitió mantener la turbidez del agua precipitada en el rango de valores deseado por el usuario final, lo que mejora la eficiencia de los procesos posteriores de tratamiento de aguas blancas.

ÍNDICE GENERAL

	Pág.
CONSTANCIA DE APROBACIÓN	iii
DEDICATORIA	iv
RECONOCIMIENTOS Y AGRADECIMIENTOS	v
RESUMEN	vi
ÍNDICE GENERAL	vii
LISTA DE TABLAS	xii
LISTA DE FIGURAS	xiii
SIGLAS Y ACRÓNIMOS	xvi
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I. MARCO REFERENCIAL	4
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	4
1.2. OBJETIVOS	5
1.2.1. Objetivo General	5
1.2.2. Objetivos Específicos	5
CAPÍTULO II. FUNDAMENTOS TEÓRICOS	7
2.1. TRATAMIENTO DE AGUAS BLANCAS A NIVELES INDUSTRIALES	7
2.2. POTABILIZACIÓN DEL AGUA	8
2.2.1. Tratamiento preliminar	9
2.2.1.1. Cribado y tamizado	9
2.2.1.2. Presedimentación	9
2.2.1.3. Distribución del caudal de entrada a la planta	10
2.2.1.4. Aireación	10
2.2.2. Dosificación de coagulante. Coagulación	10
2.2.3. Dosificación de floculante. Floculación	11
2.2.4. Mezcla de reactivos. Agitación	12
2.2.5. Sedimentación	13
2.2.6. Filtrado	13

2.2.7.	Cloración	13
2.3.	PARÁMETROS FÍSICOS Y QUÍMICOS DEL AGUA	14
2.3.1.	Turbidez	14
2.3.2.	Coloides	15
2.4.	PRINCIPIO DE MEDICIÓN DE LAS VARIABLES EN EL PROCESO DE INTERÉS	15
2.4.1.	Medición de Turbidez	15
2.4.2.	Medición de Caudal	19
2.4.2.1.	Placa Orificio	20
2.4.2.2.	Tubo Venturi	20
2.5.	SISTEMAS DE DOSIFICACIÓN	21
2.5.1.	Principio de funcionamiento	21
2.5.2.	Bombas de Dosificación	21
2.5.2.1.	Bomba dosificadora accionada por motor/pistón	21
2.5.2.2.	Bomba dosificadora electromagnética	22
2.6.	DISPOSITIVOS DE CONTROL Y SUPERVISIÓN INDUSTRIAL	24
2.6.1.	Relé	24
2.6.1.1.	Relé interruptor	24
2.6.1.2.	Relé conmutador	24
2.6.1.3.	Relé programable	25
2.6.2.	Controlador lógico programable (PLC)	25
2.6.3.	Controlador de Automatización Programable (PAC)	26
2.6.4.	Control Supervisorio y Sistemas SCADA	26
2.7.	TRANSMISIÓN DE SEÑALES ANALÓGICAS. REDES DE CAMPO INDUSTRIALES	27
2.7.1.	Transmisión analógica en corriente y protocolo HART	28
2.7.2.	Red de campo ProfiBus	29
2.7.3.	Red de campo ProfiNet	30
2.8.	NORMATIVAS EN EL DESARROLLO DE AUTOMATIZACIONES	31
2.8.1.	Norma IEC 60947	32
2.8.2.	Norma IEC 60204	32
2.8.3.	Norma IEC 60445	33

2.8.4.	Norma IEC 60446	33
2.8.5.	Norma IEC 60447	33
2.8.6.	Norma IEC 60417	33
2.8.7.	Norma IEC 60529. Normas IP y NEMA	34
2.8.8.	Norma ISA 5.1-5.5	34
2.8.9.	CÓDIGO ELÉCTRICO NACIONAL: 2009	35
CAPÍTULO III. SISTEMA DE DOSIFICACIÓN MANUAL DE REACTIVOS DE PROCESO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS BLANCAS “PLANTA RÍO NEVERÍ”		36
3.1.	EQUIPOS E INSTRUMENTOS DEL SISTEMA DE DOSIFICACIÓN PREVIA AUTOMATIZACIÓN	36
3.2.	PROCESO DE DOSIFICACIÓN DE REACTIVOS PREVIA AUTOMATIZACIÓN	40
3.3.	REQUERIMIENTOS DEL USUARIO PARA LA AUTOMATIZACIÓN DE DOSIFICACIÓN DE REACTIVOS	42
3.4.	PLANTEAMIENTO DE LA PROPUESTA PREVIA PARA LA AUTOMATIZACIÓN DE DOSIFICACIÓN DE QUÍMICOS	43
3.4.1.	Elementos de la propuesta realizada	44
3.4.2.	Elementos de protección de la propuesta realizada	45
CAPÍTULO IV. VALIDACIÓN DEL SISTEMA DE DOSIFICACIÓN AUTOMÁTICA PROPUESTO Y SELECCIÓN DE INSTRUMENTOS		48
4.1.	VALIDACIÓN DEL DISEÑO PROPUESTO Y ELEMENTOS QUE LOS CONFORMAN	48
4.1.1.	Distribución de control	48
4.1.2.	Elemento de procesamiento y control	49
4.1.3.	Módulo de entrada y salida analógica	52
4.1.4.	Módulo comunicación	52
4.1.5.	Pantallas para visualización e interacción con el proceso	53
4.1.6.	Tableros de protección	53
4.2.	SELECCIÓN DE TURBIDÍMETROS DE AGUA CRUDA Y AGUA PRECIPITADA	54
4.2.1.	Medición de turbidez de agua cruda	54
4.2.2.	Medición de turbidez de agua precipitada	58

CAPÍTULO V. SISTEMA DE DOSIFICACIÓN AUTOMÁTICA DE COAGULANTE Y FLOCULANTE	60
5.1. DISEÑO DE LA LÓGICA DE CONTROL E INTERFAZ DE OPERACIÓN	60
5.1.1. Conversión D/A y A/D realizada por el controlador	67
5.1.2. Comunicación entre controladores y pantallas HMI	69
5.1.3. Interacción con el sistema automatizado y programación asociada	70
5.1.4. Carga de rangos de turbidez	74
5.1.5. Carga de rectas de dosificación	76
5.1.6. Alarmas. Carga de rango de alarmas	78
5.1.7. Calibración de acople de las señales mostradas en las pantallas táctiles	82
5.1.8. Conmutación de las bombas de dosificación	83
5.2. IMPLEMENTACIÓN Y CANALIZACIÓN DEL SISTEMA DE DOSIFICACIÓN AUTOMÁTICA	84
5.2.1. Implementación de los elementos del sistema automatizado	85
5.2.2. Canalizaciones. Diseño e implementación	89
5.3. VALIDACIÓN DEL SISTEMA IMPLEMENTADO	93
5.3.1. Verificación de adquisición de datos	93
5.3.2. Verificación de la interacción e introducción de datos	94
5.3.3. Validación del funcionamiento del sistema	96
CAPÍTULO VI. PROYECCIÓN DEL SISTEMA SCADA WEB	98
6.1. SISTEMA SCADA BAJO PLATAFORMA WONDERWARE	100
6.1.1. Descripción de programas de Wonderware	100
6.1.2. Diseño de la interfaz HMI del SCADA bajo plataforma Wonderware	101
6.1.2.1. Históricos de variables de interés (Gráficos)	106
6.1.2.2. Comunicación con los dispositivos de control	107
6.1.2.3. Validación del sistema SCADA local	108
6.2. INSTALACIÓN DE SOFTWARE PARA SCADA WEB	115
6.3. PUBLICACIÓN A INTERNET DEL SCADA DISEÑADO	116
6.3.1. Wonderware Information Server	116
6.3.1.1. Orchestra Web-Exporter	119
6.3.1.2. Administración y seguridad del SCADA web	120

6.3.1.3.	Conexión desde internet al sistema SCADA web	121
6.3.1.4.	Validación del sistema SCADA WEB	122
CONCLUSIONES		125
RECOMENDACIONES		127
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS		130
BIBLIOGRAFÍA		133
GLOSARIO		135
ANEXOS		136

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Índice de floculación de Willcomb.	12
Tabla 2. Tres propiedades del agua que causan efectos en la medición de turbidez. .	18
Tabla 3. Valores de turbidez de agua precipitada suministrados.	43
Tabla 4. Rango de señales analógicas módulo SM1234.	52
Tabla 5. Características de los turbidímetros considerados para la medición de turbidez de agua cruda.	56
Tabla 6. Características de los turbidímetros considerados para la medición de turbidez de agua precipitada.	58
Tabla 7. Tabla con valores alterados de flujo de dosificación de coagulante hacia los precipitadores 1, 2 y 3.	61
Tabla 8. Efectos del factor de ajuste de pendiente “ k ”	63
Tabla 9. Equivalencia entre el rango de medición de las variables de interés y el rango de valor crudo asignado por el controlador.	68
Tabla 10. Lógica para garantizar continuidad de tramos de turbidez ingresados.	74
Tabla 11. Lógica para verificación de congruencia rangos de turbidez.	75
Tabla 12. Señales manejadas en la automatización.	89
Tabla 13. Colores de conductores utilizados.	90

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Esquema interno de turbidímetro de un sólo emisor de luz con detectores de refractancia por encima y debajo de los 90°	16
Figura 2. Sensor óptico de turbidez.....	17
Figura 3. Turbidímetro de laboratorio.....	17
Figura 4. Diagrama de presión diferencial. Principio de Bernoulli.	20
Figura 5. Esquemas de carga y descarga en bomba dosificadora de diafragma.	23
Figura 6. Protocolo HART.....	28
Figura 7. Brida utilizada para la medición de caudal por presión diferencial en la línea de proceso dirigida hacia los precipitadores 1, 2 y 3.	37
Figura 8. Panel indicador de los caudalímetros existentes.....	38
Figura 9. Vistas de la planta.....	38
Figura 10. Diagrama de tuberías e instrumentación del proceso de dosificación previa la automatización.	39
Figura 11. Tuberías para toma de muestras de agua.	40
Figura 12. Vista frontal de las perillas de ajuste de dosificación.....	41
Figura 13. Aspecto externo de los tableros de control de dosificación de químicos ..	46
Figura 14. Esquema de bloques del sistema de la propuesta previa realizada por la empresa.	47
Figura 15. Diagrama de tuberías e instrumentación del sistema de dosificación automática del químico coagulante y el químico floculante.....	47
Figura 16. Diagrama comparativo para validación del controlador propuesto.....	51
Figura 17. Turbidímetro para la medición de turbidez de agua cruda seleccionado... ..	57
Figura 18. Turbidímetro para la medición de turbidez de agua precipitada seleccionado.	59
Figura 19. Recta de dosificación de coagulante hacia los precipitadores 1, 2 y 3 para turbidez de agua de entrada entre 500-700 NTU.	62
Figura 20. Efecto del factor de offset “b0”.	64
Figura 21. Lógica de control para la dosificación del químico coagulante y el floculante.....	65
Figura 22. Vista del ambiente de trabajo de SIMATIC TIA PORTAL v. 10.5.....	66
Figura 23. Recta de conversión analógica digital realizada por el PLC S7-1200.....	68
Figura 24. Recta de conversión digital analógica realizada por el PLC S7-1200.....	69
Figura 25. Diagrama de red de conexión de dispositivos mediante ProfiNet.....	70
Figura 26. Ventana principal del proceso.	71

Figura 27. Ventana de Tanque de Agua Precipitada.....	72
Figura 28. Ventana de gráfica de magnitud de variables.....	73
Figura 29. Ventana de Control o Menú Principal.....	73
Figura 30. Ventana de ingreso de rangos de turbidez.....	74
Figura 31. Ventana de ingreso de rangos de turbidez con datos válidos.....	75
Figura 32. Ventana de confirmación de cambios a realizar.....	76
Figura 33. Ventana para el ingreso y ajustes de la recta de dosificación correspondiente a un tramo de turbidez de 0 a 40 NTU.....	77
Figura 34. Esquema de alarmas para turbidez de agua cruda.....	78
Figura 35. Esquema de alarmas para turbidez de agua precipitada.....	79
Figura 36. Ventana para definir límites de activación y desactivación de alarmas.....	80
Figura 37. Validación de niveles de turbidez ingresados.....	81
Figura 38. Panel de alarmas.....	82
Figura 39. Ventana de selección de bombas de dosificación.....	84
Figura 40. Esquema de vista superior de la planta sin elementos del sistema de dosificación automática.....	85
Figura 41. Tablero de adquisición de datos y turbidímetro de agua precipitada instalados.....	86
Figura 42. Tablero de control de coagulante instalado en la planta.....	86
Figura 43. Tablero de control de floculante instalado en la planta.....	87
Figura 44. Sensor de turbidez de agua cruda fijado en planta.....	87
Figura 45. Panel de turbidímetro de agua cruda fijado en planta.....	88
Figura 46. Esquema de vista superior de ubicación de equipos e instrumentos del sistema implementado.....	88
Figura 47. Caja de conexión de las bombas de dosificación a los tableros de control.....	91
Figura 48. Tableros de dosificación energizados.....	92
Figura 49. Paneles de turbidímetros energizados.....	92
Figura 50. Ventana HMI principal de proceso del sistema SCADA.....	102
Figura 51. Menú de control del sistema supervisorio.....	103
Figura 52. Ventana para ingreso de rangos de turbidez del sistema supervisorio.....	104
Figura 53. Ventana para ajustes de rectas de dosificación del sistema supervisorio.....	105
Figura 54. Ventana para ingreso de límites de alarmas del sistema supervisorio.....	105
Figura 55. Ventana conmutación de bombas del sistema supervisorio.....	106
Figura 56. Ambiente de trabajo del Active Factory.....	107
Figura 57. Variación de flujo de dosificación de coagulante hacia los precipitadores 1, 2 y 3.....	110
Figura 58. Variación de flujo de dosificación de químico coagulante a los precipitadores 1, 2 y 3 ante variaciones controladas del caudal de agua cruda.....	112

Figura 59. Panel de configuración de usuarios de Active Factory.....	116
Figura 60. Aplicación de WIS instalada en el servidor.....	117
Figura 61. Ventana de seguridad para ingresar al WIS.....	118
Figura 62. Panel principal de la página web creada por el WIS.	118
Figura 63. Publicación de la aplicación InTouch mediante Web Exporter.....	119
Figura 64. Roles de seguridad asignados para acceder a la aplicación web.	121
Figura 65. Esquema de conexión desde internet al sistema SCADA web.....	121
Figura 66. Página web del WIS con el sistema SCADA.	122

SIGLAS Y ACRÓNIMOS

AWG: *American Wire Gauge*. (Calibre de Alambre Estadounidense).

CEN: Código Eléctrico Nacional.

DIN: *Deutsches Institut für Normung* (Instituto Alemán de Normalización).

FSK: *Frequency Shift Keying* (Codificación por cambio de frecuencia).

GRAF CET: *Graphe Fonctionnel de Commande Etape Transition* (Gráfica de Control de Etapas de Transición).

HMI: *Human Machine Interface* (Interfaz Hombre Máquina).

IEC: *International Electrotechnical Commission* (Comisión Internacional Electrotécnica).

IP: *Internal Protection* (Protección interna).

NEMA: *National Electrical Manufacturers Association* (Asociación Nacional de Fabricantes Eléctricos).

PLC: *Programmable Logic Controller* (Controlador Lógico Programable).

PAC: *Programmable Automation Controller* (Controlador de Automatización Programable).

SCADA: *Supervisory Control and Data Acquisition* (Control Supervisorio y Adquisición de Datos).

TCP/IP: *Transmission Control Protocol/Internet Protocol* (Protocolo de Control de Transmisión/Protocolo de Internet).

WLAN: *Wireless Local Area Network* (Red de Área Local Inalámbrica).

INTRODUCCIÓN

El tratamiento de agua a niveles industriales consiste en una serie de procesos físicos, químicos y biológicos que tienen como finalidad eliminar o reducir los contaminantes de aguas de fuentes naturales, de abastecimiento, de proceso o residuales. En las plantas de tratamiento de aguas blancas, los procesos de coagulación y floculación son utilizados para retirar sólidos disueltos y partículas suspendidas presentes en el agua a tratar, éstos actúan en la primera etapa de clarificación del agua y en conjunto forman pequeñas masas llamadas *flocs* o flóculos cuyo peso específico supere al del agua y puedan precipitar. [1]

En primera instancia, la coagulación desestabiliza las partículas suspendidas de modo que se reduzcan las fuerzas de separación entre ellas y se facilite su aglomeración. Por su parte, la floculación reúne las partículas aglomeradas en una red mediante puentes químicos entre ellas de modo que se forme una malla de coágulos. Luego de que el químico coagulante y el químico floculante actúan sobre el agua a tratar, se forman cuerpos de partículas coaguladas lo suficientemente grandes y pesados como para sedimentar, éstos son posteriormente retirados por procedimientos de decantación y filtración. [2]

La dosis de químicos necesaria para realizar esta etapa de tratamiento, es determinada a partir de la medición del caudal del agua y de su turbidez. Esta última está conformada por partículas suspendidas que provienen de la erosión de suelos, la disolución de sustancias minerales, la descomposición de sustancias orgánicas. Asimismo, la turbidez del agua proveniente de una fuente natural, también puede ser causada por descargas de desagües industriales, domésticos, entre otros [2].

Por tanto, en el proceso de tratamiento de aguas con fines de potabilización, la turbidez es un parámetro indeseable que es reducido con la dosificación adecuada del químico coagulante y el químico floculante.

En este trabajo especial de grado, se expone el diseño e implementación de un sistema de control para la dosificación automática de químico coagulante y de químico floculante en la Planta Río Neverí de PDVSA, ubicada en Barcelona, Estado Anzoátegui. En el primer capítulo se presenta el planteamiento del problema y los objetivos establecidos para este trabajo. Seguidamente, en el segundo capítulo se exponen los fundamentos teóricos de las etapas del proceso de tratamiento de aguas blancas, así como los principios de medición de las variables de interés, definición de controladores programables industriales, sistemas de dosificación y redes de campo. Además, se hace referencia a las normas utilizadas en la validación y desarrollo del sistema de automatización, así como de la canalización del mismo.

En el tercer capítulo se muestran los elementos de la planta que intervienen en la primera etapa de tratamiento de agua, así como el procedimiento de dosificación de químico coagulante y químico floculante llevado a cabo por los operadores de la planta previo la automatización del sistema. De igual forma, se presentan los requerimientos efectuados por el usuario final, así como la propuesta del sistema de dosificación automática de químicos. Posteriormente, en el cuarto capítulo se expone la validación de la propuesta del sistema de control y los elementos que lo conforman. Asimismo, se muestra la selección de los instrumentos a ser implementados en el sistema en base a las características técnicas del mismo.

Por su parte, en el quinto capítulo se contempla el diseño de la lógica de control para el sistema de dosificación automática de químicos, esquema de conexión entre los elementos de control y diseño de la interfaz visual HMI para la interacción con el proceso de dosificación, así como la ubicación en planta de los elementos del sistema de dosificación automática y la canalización de los mismos tomando las

consideraciones y normativas correspondientes. Seguidamente, se expone la validación del sistema de control implementado, referenciando las pruebas realizadas para la lógica de control, así como del funcionamiento del sistema.

En el capítulo seis, se expone la proyección de un sistema de adquisición de datos y control supervisorio publicado en una aplicación web para tener acceso al proceso de dosificación automática de químicos desde un dispositivo con una conexión a Internet. En dicho capítulo, se muestra el diseño de la interfaz HMI local del sistema supervisorio y las herramientas de complemento del SCADA. Posteriormente, se valida visualmente el funcionamiento del sistema de control de dosificación de químicos implementado. Seguidamente, se muestran las configuraciones realizadas para la publicación en Internet del sistema SCADA mediante Wonderware Information Server y se exponen las verificaciones de conexión efectuadas.

De esta forma, culminado el desarrollo del trabajo especial de grado, se presentan las conclusiones de la realización del mismo, las recomendaciones que resultan del desarrollo del proyecto y los anexos correspondientes, donde se muestra el manual de operación del sistema de control implementado, históricos del proceso, el aval de operatividad del sistema de dosificación automática implementado, entre otros.

CAPÍTULO I

MARCO REFERENCIAL

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La planta de tratamiento de aguas blancas Río Neverí de la empresa PDVSA, quien es el usuario final del proyecto, está ubicada en la Zona Industrial de Barcelona, Estado Anzoátegui. La planta posee líneas de entrada de agua cruda, en donde se le agregan químico coagulante y floculante, cuenta además con indicadores y transmisores de caudal, así como con bombas para inyección de los químicos a las líneas principales. El agua previamente tratada con los químicos es introducida en precipitadores industriales para realizar el proceso de separación de sólidos mediante la precipitación de los mismos.

Los ingenieros de la planta calculan la dosis químicos a partir de la medición de caudal y de turbidez de agua cruda, esta última es realizada en la caseta de la planta tomando muestras de agua de una línea auxiliar y colocándola en turbidímetros de laboratorio, procedimiento que no es completamente efectivo ya que no permite realizar una dosificación continua frente a variaciones naturales de turbidez del agua a tratar.

El cálculo de la dosis por medio del método de medición anterior, a pesar de ser un procedimiento válido, no se considera un método óptimo, ya que puede acarrear variaciones en la dosificación de los químicos, ocasionando dos posibles casos, el primero es que cuando la dosificación empleada está por debajo de la necesaria, el proceso de clarificación es ineficiente y no se alcanzan los niveles de turbidez óptimos para calificar el agua como potable. El segundo es que el aplicar una dosificación de químicos para el tratamiento del agua mayor de la requerida, conlleva

a un gasto innecesario de dichos químicos teniendo una ineficiencia en el proceso así como un incremento de los costos.

Con base en lo anterior y para garantizar una mayor eficiencia en el proceso de clarificación del agua así como la minimización en las pérdidas de los químicos coagulante y floculante, se plantea el diseño e implementación de un sistema de control para la dosificación automática de químicos en el proceso de clarificación del agua cruda. Con este sistema se tendrá el manejo y control de cada una de las variables involucradas en el proceso, así como la adición de la medición directa en línea de la turbidez de agua cruda y del agua precipitada. En vista de que se anticipa la necesidad futura de observación constante en cada una de sus etapas, el proyecto consta de una segunda parte en la cual se realiza una proyección de un sistema de control supervisorio que permita realizar las tareas de adquisición de datos, histórico y control de las variables de proceso, previendo la posibilidad de acceso a través de Internet mediante un SCADA web.

1.2. OBJETIVOS

1.2.1. Objetivo General

Diseñar e implementar un sistema de control para la dosificación automática de reactivos de proceso en una planta de tratamiento de aguas blancas, basado en la medición de turbidez y caudal del agua natural a tratar.

1.2.2. Objetivos Específicos

Recopilar información de la dosis de químico floculante y coagulante de los expertos e históricos de datos del proceso.

Elaborar el diagrama de proceso e instrumentación.

Validar el diseño eléctrico y de instrumentación y control.

Programar PLCs para realizar la adquisición de datos de las variables de proceso requeridas para la dosificación de químicos de una planta de tratamiento de aguas blancas (PTAB).

Programar PLCs para realizar el control de bombas de dosificación de químicos.

Diseñar la interfaz HMI de las pantallas para visualizar datos en tiempo real, seguridad, modificación de configuración, modificación de variables, modificación de relaciones entre variables y efectuar órdenes de control.

Implementar la comunicación entre PLCs y pantallas HMI mediante una red digital ProfiNet.

Diseñar e implementar la canalización en campo del cableado de comunicación analógico y digital.

Validar el funcionamiento del sistema.

Proyectar un SCADA web para monitoreo y control a distancia del proceso.

CAPÍTULO II

FUNDAMENTOS TEÓRICOS

2.1. TRATAMIENTO DE AGUAS BLANCAS A NIVELES INDUSTRIALES

Generalidades

Los parámetros que definen el tipo tratamiento del agua cruda a potabilizar varían dependiendo de la finalidad que posee.

- Consumo humano.
- Consumo industrial.
 - Aguas de proceso.
 - Generación de potencia.
 - Laboratorios farmacéuticos.
 - Torres de enfriamiento.

El agua a tratar a niveles industriales puede ser obtenida de una fuente natural o de la reutilización de procesos internos, por tanto la filtración de elementos suspendidos o contaminantes que puedan afectar el proceso para obtener el nivel de potabilización deseado son definidos por la finalidad de uso previsto. De forma genérica un proceso de tratamiento de aguas blancas puede ser dividido en tres etapas fundamentales, el pretratamiento, la decantación y la filtración.

En el pretratamiento se tratan los elementos químicos y físicos no deseados con volúmenes bajos por medio de inyección de reactivos químicos, seguidamente en la etapa de decantación se retiran los elementos suspendidos aglomerados por el

efecto de los químicos, mediante la precipitación de los mismos y posteriormente, en la etapa de filtración se retiran las partículas que no pudieron ser eliminadas por los efectos de los químicos inyectados [1].

Para los procesos de tratamiento donde el agua a tratar provenga de una fuente natural se debe tener en cuenta los cambios físicos y químicos que puede presentar durante un periodo de tiempo, dado a que las condiciones climáticas pueden afectar el comportamiento y la composición del agua proveniente de la fuente natural. Esto trae como consecuencia la variación de parámetros que realizan la clarificación y/o potabilización del agua.

2.2. POTABILIZACIÓN DEL AGUA

El proceso de potabilización es llevado a cabo basado en la medición de la turbidez y caudal que posee el agua a tratar, una vez obtenidos estos datos se dosifican los químicos coagulante y floculante. El proceso de coagulación posibilita la aglomeración de las partículas por medio de la desestabilización de las mismas, mientras que el proceso de floculación reúne las partículas en una red formando puentes químicos entre ellas de modo que se crea una malla de coágulos. El efecto de ambos químicos produce pequeñas masas llamadas *flocs* o flóculos, tal que el peso específico supere al del agua y puedan precipitar [2].

Luego del proceso de sedimentación, el agua es pasada por una etapa de filtrado en donde se le remueven partículas de menor tamaño que no sedimentaron y posteriormente se le inyecta una dosis adecuada de cloro para lograr la desinfección del agua [1].

Aunque en principio este proceso puede ser explicado en una serie de pasos puntuales, existen diversos aspectos que no pueden ser controlados o predeterminados y que implican ajustes en el proceso de potabilización del agua por

parte de los operadores, tal como el cambio en los parámetros físicos o químicos del agua proveniente de la fuente natural debido a variaciones climáticas o atmosféricas.

El agua que es tomada de una fuente natural posee elementos químicos y físicos que dependiendo de su naturaleza y la finalidad del agua a tratar pueden ser clasificados como contaminantes. Dichos elementos flotantes pueden ser sólidos de diversos tamaños con composiciones químicas y físicas distintas, tales como ramas, hojas, microorganismos, arcillas, gases disueltos, entre otros. Para eliminar cada uno de estos elementos no deseados para la potabilización del agua se realizan los siguientes procesos: [1]

2.2.1. Tratamiento preliminar

Esta etapa consiste en retirar sólidos de diversos tamaños así como características físicas y químicas indeseadas, controlar el flujo de agua entrante a la planta de tratamiento y dependiendo del caso, remover gases y olores indeseados. Dentro de los tipos de tratamientos preliminares se pueden destacar los siguientes:

2.2.1.1. Cribado y tamizado

Consiste en la remoción de elementos de gran tamaño presentes en el agua proveniente de una fuente natural. Para esto se emplea una rejilla protectora la cual impide el paso de dichos elementos a las tuberías de entrada a la planta de tratamiento y a su vez los regresa a la fuente de agua natural.

2.2.1.2. Presedimentación

El objetivo de este procedimiento consiste en retirar arenas que puedan dañar los elementos mecánicos presentes en la planta, tales como, las bombas de toma de agua natural, válvulas de regulación, entre otros, para esto el agua cruda se hace pasar

por canales rectangulares que realizan una retención del agua para lograr la sedimentación de la arena, la cual es retirada en intervalos de lavado.

2.2.1.3. Distribución del caudal de entrada a la planta

Consiste en controlar la cantidad de agua que se toma de la fuente natural para el tratamiento de la misma, esto con la finalidad de no sobrepasar la capacidad máxima para la cual fue diseñada la planta.

2.2.1.4. Aireación

Se realiza la remoción de olores, sabores y gases indeseables. Para esto se emplean aireadores colocados en cascada en forma de planos inclinados o aireadores mecánicos.

2.2.2. Dosificación de coagulante. Coagulación

El proceso de coagulación permite que por medio de la desestabilización de los pequeños sólidos que cuentan con diversas características físicas y químicas, se aglomeren las partículas por las cuales están compuestos. Estos sólidos que no sedimentan con facilidad son conocidos como coloides [3]. El agente coagulante desestabiliza los coloides neutralizando las fuerzas que las mantiene separadas, creando puentes químicos entre las partículas que los conforman. [2]

Entre los químicos más utilizados como agentes coagulantes en procesos de clarificación del agua se encuentran las sales de hierro y el sulfato de aluminio o alumbre, estos reactivos son conocidos como coagulantes metálicos. Al entrar en contacto con el agua actúan directamente sobre el pH y la alcalinidad de la misma, esto con la finalidad de estabilizar, en los rangos posibles el pH del agua y poder

facilitar los procesos químicos siguientes en el tratamiento y clarificación del agua.
[2]

Entre los métodos de dosificación de coagulantes se pueden destacar los siguientes: [2]

- Dosificación en seco: la cual emplea dosificadores volumétricos que poseen gargantas oscilantes, llenadas con sacos del polímero coagulante.
- Dosificación en solución: la cual utiliza un tanque dosificador por desplazamiento de líquidos.

2.2.3. Dosificación de floculante. Floculación

En el proceso de floculación las partículas que han sido previamente desestabilizadas entran en contacto entre sí debido a los puentes químicos que son formados por este polímero, esto ocasiona un aumento en la masa volumétrica permitiendo así la sedimentación de los mismos una vez que se encuentran en los precipitadores. La masa que es formada por la aglomeración de las partículas mediante los puentes químicos creados por el polímero floculante es conocida como flóculo. [2]

El proceso de floculación es llevado a cabo mediante un mezclado lento que junta a los flóculos, esto se realiza para evitar rupturas indeseadas en los puentes químicos formados por el polímero floculante, debido a la acción de la agitación del agua.

Existe un índice utilizado para referenciar el tamaño de flóculo y las características que lo conforman, éste se conoce como índice de Willcomb y es estimado al terminar el tiempo de sedimentación del flóculo una vez que se ha

agregado químico floculante a una muestra de agua. Esta medición depende directamente del criterio del observador. En la Tabla 1 se puede observar que el índice de Willcomb varía de 0 a 10 dependiendo de las características físicas que describen al flóculo. [4]

Tabla 1. Índice de floculación de Willcomb.

Nº de Índice	Descripción
0	Flóculo coloidal. Ningún signo de aglutinación.
2	Visible. Flóculo muy pequeño, casi imperceptible para un observador no entrenado.
4	Disperso. Flóculo bien formado pero uniformemente distribuido. (Sedimenta muy lentamente o no sedimenta).
6	Claro. Flóculo de tamaño relativamente grande pero que precipita con lentitud.
8	Bueno. Flóculo que se deposita fácil y completamente.
10	Excelente. Flóculo que se deposita completamente dejando el agua cristalina.

Dentro de los tipos de polímeros floculantes más utilizados se encuentran los oxidantes, los cuales ayudan a la mejora de la floculación mediante la oxidación de la materia orgánica de los coloides formados en el proceso de coagulación. También se encuentran los polímeros absorbentes que actúan de forma más eficiente en aguas coloreadas y con un nivel de mineralización bajo, absorbiendo las partículas desestabilizadas de los coloides originando flóculos del peso necesario para lograr su sedimentación. [5]

2.2.4. Mezcla de reactivos. Agitación

Una vez que se han inyectado los reactivos de proceso, el agua que está en tratamiento pasa por una serie de agitadores para lograr una mezcla eficiente del polímero coagulante y floculante. Luego de que el agua es agitada, es dirigida hacia los precipitadores para la sedimentación de los elementos suspendidos en el agua.

2.2.5. Sedimentación

La sedimentación es parte necesaria del proceso de potabilización, aquí los elementos suspendidos que se encuentran en el agua precipitan debido al efecto del coagulante y floculante. Para este procedimiento son empleados tanques de sedimentación conocidos como precipitadores. El agua que es dirigida hacia los precipitadores debe fluir a una velocidad baja de tal forma que los sólidos suspendidos se puedan asentar por efecto de la gravedad.

Existen diversos tipos de precipitadores que son utilizados en las plantas de tratamiento de aguas blancas, cada uno de ellos es empleado dependiendo de las condiciones o características físicas y químicas del agua a tratar, así como de la cantidad de agua que esté en tratamiento. Una vez que el agua tratada pasa por el sistema de sedimentación se denomina agua precipitada.

2.2.6. Filtrado

Este proceso es necesario para poder retirar mediante filtros los elementos suspendidos que no pudieron ser removidos en el proceso de sedimentación. La capacidad de filtrado depende del grado de pretratamiento del agua así como de las dimensiones del medio poroso que conforma al filtro. [3]

2.2.7. Cloración

Debido a que la finalidad del proceso en general es garantizar la potabilización del agua, se emplea la inyección de cloro para poder desinfectar y remover los microorganismos que no pudieron ser retirados en el proceso de coagulación y floculación [1].

En algunas plantas de tratamiento de aguas blancas se emplea la dosificación de cal en el proceso de potabilización, debido a que permite ablandar el agua que está siendo tratada de forma eficaz.

2.3. PARÁMETROS FÍSICOS Y QUÍMICOS DEL AGUA

Algunos de estos parámetros son: [6]

- Turbidez.
- Color.
- Sabor y olor.
- Conductividad y resistividad.
- Potencial de hidrógeno. pH.
- Dureza.
- Alcalinidad.
- Coloides

Para el desarrollo de este trabajo especial de grado se hace énfasis en los siguientes parámetros:

2.3.1. Turbidez

Parámetro que define la capacidad que tiene un haz de luz para atravesar un líquido. Dependiendo de los sólidos en suspensión que tenga el líquido variará el ángulo de refractancia del haz de luz en dicho medio y de igual forma la transparencia del mismo. [3]

2.3.2. Coloides

Son partículas en suspensión en un medio molecular, dichas partículas son conocidas como coloides cuando tienen dimensiones entre 10nm y 10 μ m [7]. Una característica fundamental de los coloides presentes en el agua, se refiere a sus propiedades químicas, ya que mantienen un estado en que las partículas que los componen no se peguen entre sí, formando una especie de nube en el agua. Por ende, es un parámetro de importancia a remover en el tratamiento de aguas blancas con fines de potabilización.

2.4. PRINCIPIO DE MEDICIÓN DE LAS VARIABLES EN EL PROCESO DE INTERÉS

Debido a que el proceso de dosificación del químico coagulante y floculante que se desea automatizar está basado en la medición de turbidez del agua cruda y del caudal con el que ésta fluye por las líneas de proceso, se procede a indicar en esta sección los principios de medición de estas dos variables fundamentales en el proceso de tratamiento de aguas blancas de la Planta Río Neverí.

2.4.1. Medición de Turbidez

El principio de medición de turbidez del agua está fundamentado en la nefelometría, palabra que proviene del griego “nephélē”, que significa nube, y “metron” que indica medición, por lo tanto se refiere a la “medición de nubes” presentes en un líquido, formadas por los coloides que éste posee [8]. Es una técnica basada en la dispersión de la luz en el líquido en estudio, midiendo el haz de luz en la dirección que forma 90°. Esto da base a la técnica de medición de turbidez conocida como turbidimetría, la cual analiza la dispersión de luz en el líquido y dependiendo

del tipo de medición que se requiera puede realizar un sondeo de la disminución de la transmitancia del haz de luz al atravesar el medio líquido. [9]

El instrumento utilizado para medir esta característica del agua es el Turbidímetro o Nefelómetro, el cual emplea el principio de nefelometría. En la Figura 1 se muestra el esquema interno de un turbidímetro basado en dicho principio. Está formado por un emisor y un receptor de luz que detecta la radiación incidente a 90° de la luz esparcida al entrar en contacto con las partículas en suspensión. El turbidímetro está diseñado de tal forma que tenga niveles muy bajos o nulos de luz extraviada, esto con la finalidad de no tener una pérdida de medición durante la estabilización del instrumento, aspecto de gran importancia al medir turbidez en bajas concentraciones. Las unidades empleadas para la medición de turbidez es el [NTU] que significa *Nephelometric Turbidity Unit* o Unidad Nefelométrica de Turbidez y [JTU] Unidad de Turbidez de Jackson, la relación que existe entre estas dos unidades es de 1 NTU equivale a 0,053 JTU. Actualmente la unidad más utilizada para medir la turbidez en líquidos es [NTU]. [9]

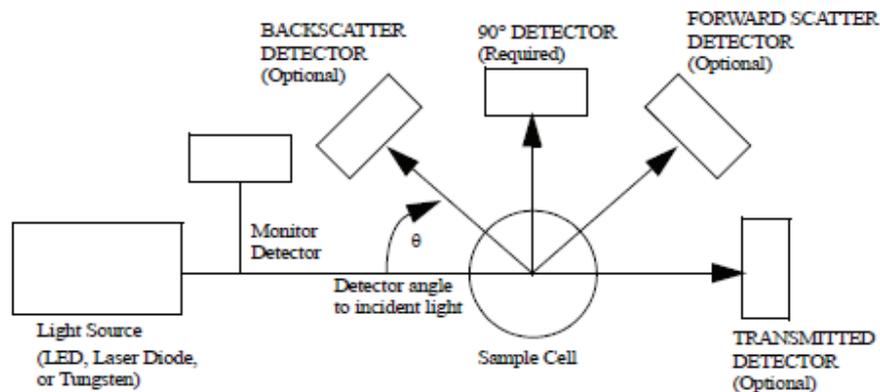


Figura 1. Esquema interno de turbidímetro de un sólo emisor de luz con detectores de refractancia por encima y debajo de los 90° . [9]

Existen ciertos aspectos que pueden afectar la medición de turbidez, como las variaciones en el color del agua, materiales particulares que contenga, densidad, entre otros. Éstos pueden causar algunos daños en los sensores ópticos del instrumento,

como imperfectos o pequeñas ralladuras que puedan reflejar una medición incorrecta siempre y cuando el sensor esté en contacto directo con el líquido.

Además, la presencia de burbujas en grandes cantidades o gases presentes en el agua puede causar una turbidez aparente y ángulos de refractancia del haz de luz variables. En la Figura 2 (a), se muestra el aspecto del sensor óptico de un turbidímetro sumergible y en la Figura 2 (b) observa el haz de luz que ilumina las partículas de un líquido sin la presencia de burbujas y gases, mostrando una medición adecuada mediante este principio. [9]

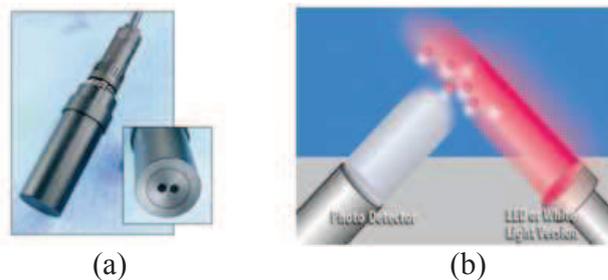


Figura 2. Sensor óptico de turbidez. (a) Sensor óptico sumergible. (b) Emisor y receptor de luz del sensor.

Fuente: ATI. *A15-76 Turbidity Sensor. Datasheet.*--Estados Unidos: 2010, p2.

En algunos casos y según las características físico-químicas del líquido en estudio, así como de las condiciones del proceso, la turbidez es medida tomando una muestra del fluido a analizar y colocándola en un turbidímetro de laboratorio, tal como se muestra en la Figura 3. En estos casos el emisor del haz de luz y el sensor óptico del instrumento no están en contacto directo con el líquido.



Figura 3. Turbidímetro de laboratorio.

Fuente: HACH LANGE. *2100Q Portable Turbidimeter. User Manual.*--Alemania: 2008, p1.

En un turbidímetro existen variaciones en el tipo de fuente de luz empleada, longitud de onda y rangos de turbidez, dependiendo del líquido que esté en medición. Comúnmente para la medición de agua cruda y/o de líquidos que posean alta turbidez [40-4.000 NTU] se emplea un haz de luz infrarrojo debido a la baja sensibilidad al color que puede tener. Para la medición de turbidez en aguas tratadas [0-40 NTU] se utiliza una fuente de luz blanca, debido a la sensibilidad que tiene en un medio cristalino y a que puede detectar variaciones de ángulo de luz en partículas en suspensión extremadamente pequeñas, menores a los 10 nm [10].

Existen otros tipos de medición de turbidez como la detección de atenuación de la luz, pero no es utilizado en procedimientos regulares en el tratamiento de aguas blancas debido a la alta susceptibilidad a interferencias. En la Tabla 2 se puede observar tres (3) propiedades del agua que causan efectos específicos en la medición de turbidez, así como la fuente de luz utilizada para compensar dichos efectos. [9]

Tabla 2. Tres propiedades del agua que causan efectos en la medición de turbidez.

Propiedad del agua	Efecto en la medición	Fuente de luz para compensar el efecto
Partículas coloreadas	Absorción del haz de luz	Luz infrarroja (780-900 nm). Múltiples detectores
Partículas de gran tamaño	Refractancia del haz de luz	Luz infrarroja (820-900 nm). Múltiples detectores
Partículas de pequeño tamaño	Baja refractancia del haz de luz	Luz blanca.

En Venezuela los rangos para la clasificación de agua como potable en cuanto a la turbidez que ésta posee son indicados por las “Normas Sanitarias de Calidad de Agua Potable” plasmadas en la Gaceta Oficial Número 36.395 por parte del Ministerio de Sanidad y Asistencia Social, el viernes 13 de febrero de 1998. El Capítulo III de dicha Gaceta, “De Los Aspectos Organolépticos, Físicos y Químicos” muestra en el cuadro No. 01 “Los componentes relativos a la calidad organoléptica del agua potable” donde se indica que la turbidez del agua para ser calificada como potable debe tener un valor deseable menor a 1 NTU, permisible 5 NTU y máximo

aceptable 10 NTU provisionalmente en casos excepcionales, plenamente justificados ante la autoridad sanitaria. [11]

Internacionalmente existen dos estándares utilizados como referencia para medición de turbidez, así como para la determinación del turbidímetro a utilizar. El primero está escrito por *International Organization of Standardization ISO 7027* “Determinación la turbidez” y el segundo está determinado por *Environmental Protection Agency EPA 180.1* “Determinación de Turbidez por Nefelometría”

2.4.2. Medición de Caudal

La medición de caudal en procesos de tratamiento de aguas blancas es indispensable para la determinación de dosis de reactivos químicos que deben ser inyectados en las líneas de proceso, esta medición consiste en la determinación de la cantidad de masa que circula por una línea o tubería determinada en un período de tiempo [12]. Los caudalímetros pueden determinar el caudal de volumen de un fluido de forma directa o indirecta. [10]

- Forma directa: realizan la medición mediante mecanismos de desplazamiento positivo.
- Forma indirecta: realizan la medición mediante principios de presión diferencial, velocidad, fuerza, entre otros.

El método de medición de caudal más utilizado a niveles industriales es el de presión diferencial, el cual funciona bajo el principio de Bernoulli, e implica la restricción de un fluido capaz de generar una caída de presión antes y después de la variación del conducto en el que viaja. En la Figura 4 se observa una tubería con ampliación de diámetro interno, con esta variación la velocidad del fluido disminuye y el área transversal de dicho fluido así como la presión aplicada aumentan. El caudal es calculado a partir del producto de la diferencia de presión, el área transversal del

fluido y la velocidad de transporte del fluido, que pasa por un conducto antes y después de la variación del diámetro del mismo [13].

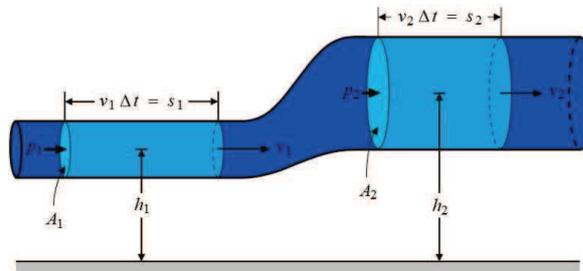


Figura 4. Diagrama de presión diferencial. Principio de Bernoulli.

Fuente: <<http://hidraulica.umich.mx/bperez/danielbernoulli.htm>> [Consulta: agosto 2012]

Entre los métodos de medición de caudal más comunes basados en el principio de presión diferencial, se encuentran los siguientes:

2.4.2.1. Placa Orificio

Consiste en crear una diferencia de presión con una placa perforada que es instalada en la tubería. La abertura de la placa puede ser de forma circular o semicircular, concéntrica o excéntrica [10]. Este tipo de medición es utilizado en fluidos limpios como el agua y donde es transportada en diámetros de tuberías grandes, de 6" en adelante.

2.4.2.2. Tubo Venturi

Consiste en un segmento de tubería que cuenta con un cono en cada uno de sus extremos [10]. En la parte media posee una boquilla de menor diámetro que el de la línea principal, lo cual causa que aumente considerablemente la velocidad del fluido al pasar por ella, teniendo como consecuencia directa la disminución de la presión, la cual es aprovechada para realizar la medición con un caudalímetro de presión diferencial.

2.5. SISTEMAS DE DOSIFICACIÓN

2.5.1. Principio de funcionamiento

Estos sistemas consisten en el bombeo de un fluido para una finalidad determinada. Inyectan una cantidad de fluido por un periodo de tiempo determinado y generalmente el flujo de dosificación está dado en mililitros por minuto [ml/min]. Para estos sistemas se utiliza una variedad de bombas dosificadoras, las cuales variarán sus características de diseño dependiendo de los parámetros químicos que posee el fluido a dosificar.

2.5.2. Bombas de Dosificación

Son los elementos empleados para la dosificación del fluido a un flujo determinado. Las bombas de dosificación utilizadas en el campo industrial son robustas y de larga duración debido a la exigencia que puede demandar el proceso. Por lo general, poseen un modo de regulación de flujo manual, mediante unas perillas externas que pueden ser ajustadas por los operadores autorizados. En algunos casos, las bombas pueden presentar una opción de modo automático cuyo principio de funcionamiento se basa en la recepción de una señal analógica (generalmente 4-20 mA ó 0-10V), la cual es generada por un controlador para administrar el flujo de dosificación de forma automática [14]. Dentro de los principios de funcionamiento que poseen estas bombas se pueden mencionar los siguientes:

2.5.2.1. Bomba dosificadora accionada por motor/pistón

El accionamiento de este tipo de bombas consiste de un motor de arranque y un pistón de empuje, además posee un disco con eje excéntrico el cual obliga al sentido del bombeo en una dirección forzada una vez que el pistón es accionado. Por

lo general son bombas con cavidad fija. La cantidad de fluido que entra en dicha cavidad puede ser regulada por un operador mediante una perilla externa generalmente conocida como *stroke*, de igual forma la frecuencia de bombeo puede ser regulada mediante otra perilla. Poseen una válvula en el lado de succión y otra en el lado de descarga, éstas permiten que la dosificación del fluido sea interrumpido por un operador para la calibración de la bomba o cualquier otro caso que sea necesario. [14]

2.5.2.2. Bomba dosificadora electromagnética

Es utilizada para administrar fluidos mediante un mecanismo electromagnético. Su funcionamiento se basa en un solenoide, un elemento ferromagnético conectado a un diafragma y válvulas tipo *check* que son accionadas para mover el fluido en dos estados (carga y descarga). [15]

- Carga: el solenoide energizado mueve al elemento ferromagnético y a su vez al diafragma para absorber el fluido a dosificar y colocarlo dentro de la cavidad de la bomba, tal como se muestra en la Figura 5 (a). La absorción creada logra que la válvula de la parte inferior se abra y la de la parte superior se cierre.
- Descarga: al desenergizar el solenoide, el diafragma regresa a su posición inicial, impulsando el líquido absorbido fuera de la cavidad de la bomba e inyectándolo al proceso. La presión creada hacia la cavidad de la bomba logra que la válvula de la parte inferior se cierre y la de la parte superior se abra, tal como se muestra en la Figura 5 (b).

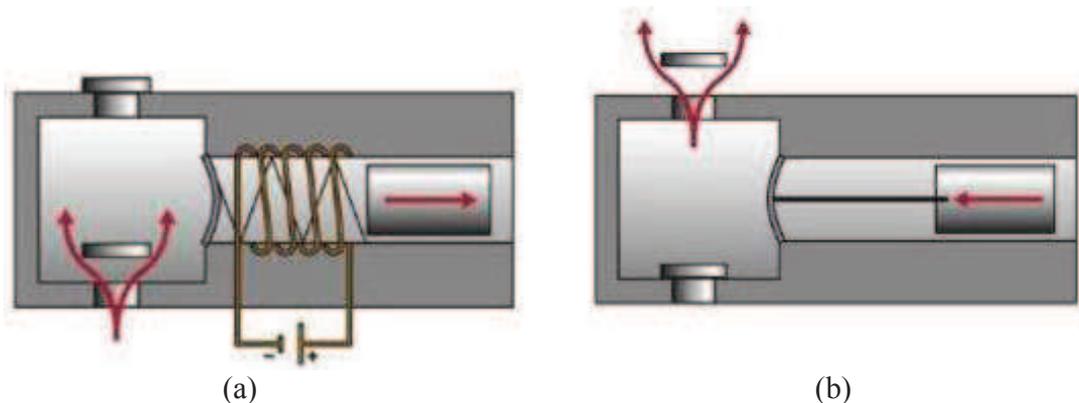


Figura 5. Esquemas de carga y descarga en bomba dosificadora de diafragma.
 (a) Esquema de carga. (b) Esquema de descarga. [15]

La frecuencia de bombeo es controlada por un circuito interno regulado por una perilla externa cuando la bomba esté funcionando en modo manual, mientras que la amplitud de bombeo puede ser controlada mediante un ajuste mecánico, ocasionado por la variación del *stroke*. Este ajuste puede ser realizado cuando la bomba esté funcionando en modo manual o automático. [15]

En general, las bombas de diafragma cumplen con ciertos parámetros de diseño que varían dependiendo de las características químicas del fluido a dosificar. Esto determina el tipo de material con el que son construidos los componentes internos que estarán en contacto directo con el químico a dosificar. De igual forma, deben contar con un grado de protección que esté internacionalmente estandarizado, adecuado al fluido que se va a dosificar y al tipo de proceso donde será implementada.

El sistema de dosificación es parte esencial en las plantas de tratamiento de agua, debido a que es el encargado de inyectar a la frecuencia y amplitud necesaria los reactivos de proceso, tales como el químico coagulante y el floculante.

2.6. DISPOSITIVOS DE CONTROL Y SUPERVISIÓN INDUSTRIAL

En la siguiente sección se abarcará de forma general algunos elementos y dispositivos que intervienen en la supervisión y control industrial. La característica fundamental que tienen estos dispositivos es que bajo un control de lógica integrada o por medio de accionamiento manual, actúan de forma directa sobre el proceso, lo cual ha sido de gran importancia en la evolución del diseño de los mismos. Algunos de ellos se presentan a continuación:

2.6.1. Relé

Es un dispositivo electromecánico que tiene como funcionalidad interrumpir el paso de una corriente eléctrica. Es accionado por un electroimán el cual permite energizar, desenergizar o conmutar un circuito eléctrico. A continuación son mencionados algunos de los tipos de relés empleados en un proceso de control:

2.6.1.1. Relé interruptor

Dispositivo utilizado para interrumpir o energizar tableros de control y todos los circuitos que éstos controlan. Uno de los tipos de relé interruptor empleado para esta finalidad es el relé magnetotérmico. Éste protege a los circuitos de sobrecarga o cortocircuito y además, protege a los conductores de cambios repentinos de temperatura ocasionados por un aumento en la intensidad de corriente. [16]

2.6.1.2. Relé conmutador

Se diferencia con el relé interruptor en que por medio de un contacto móvil, conocido como polo y los contactos fijos, permite la conmutación entre dos o más circuitos.

2.6.1.3. Relé programable

Están diseñados con circuitos electrónicos internos capaces de realizar operaciones matemáticas sencillas previa programación, cuentan con una memoria limitada para guardar los ajustes realizados por el operador e integran la posibilidad de disparo de alarmas cuando algún valor de interés se encuentre fuera de rango [17]. Dichas configuraciones son llevadas a cabo en algunos modelos de este tipo de relé mediante la interacción del operador con un panel.

2.6.2. Controlador lógico programable (PLC)

Dispositivo compuesto por circuitos integrados para realizar procesamiento, cálculo y almacenamiento de datos, posee la capacidad de seguir un algoritmo complejo, realizar secuencias, manipular datos, digitalizar y escalar señales analógicas, etc. En general son de característica robusta, lo cual permite su implementación en procesos industriales que tengan alto nivel de ruido, vibraciones, entre otros. [18]

Por medio de protocolos de comunicación pueden transmitir y recibir datos hacia y desde un panel remoto. Algunos modelos permiten la interacción con la lógica interna mediante un *display* integrado en el controlador o una pantalla externa conectada de forma remota, cuentan con módulos propios o integrables para la adquisición y transmisión de señales digitales o analógicas. [18]

Mediante un software de programación se puede programar y reprogramar la lógica de control deseada con lenguajes tales como el de contactos o escalera, lenguaje estructurado, bloques funcionales, diagramas, entre otros; cada uno de ellos establecidos en la norma IEC 61131-3.

Además, para casos de diseño donde sea necesario la activación de una o varias alarmas bajo diversas condiciones, se utiliza un tipo de diagrama conocido como Gráfica de Control de Etapas de Transición GRAFCET, en éste el programador toma en cuenta condiciones, entradas y transiciones que permiten crear una lógica de control capaz de detectar cuando ocurra una acción que requiera una notificación necesaria. Entre los tipos de controladores lógicos programables se encuentran el PLC compacto/monobloque y el PLC modular [18].

2.6.3. Controlador de Automatización Programable (PAC)

El Controlador de Automatización Programable está diseñado para la automatización de procesos de control avanzados, permiten la comunicación local y remota sobre una plataforma única de todos los elementos presentes en un proceso industrial. El hardware y software de este dispositivo combina las funcionalidades de una PC con las prestaciones que brinda un PLC en un sólo elemento de control. Además, uno de los aspectos que lo hace único entre los dispositivos de control, es que cuenta con un sistema operativo propio que permite crear de manera sencilla y con el empleo de lenguajes de programación flexibles, toda la arquitectura de control de alto desempeño en sistemas industriales de múltiples etapas. [19]

2.6.4. Control Supervisorio y Sistemas SCADA

El sistema de control supervisorio permite obtener los datos y señales, realizar ajustes de manera remota al controlador, para que actúe sobre el proceso de la manera deseada. En este tipo de sistema el operador puede realizar ajustes sobre el controlador verificando los cambios correspondientes, ordenar la asignación sobre los puntos de consigna y actuar de forma paralela al controlador ubicado en planta. Esto tiene como ventaja que en caso de que el sistema supervisorio presente una falla, el controlador ubicado en planta regulará la variable de proceso en el último punto de consigna asignado. [10]

El término utilizado comúnmente para definir estos sistemas es SCADA *Supervisory Control And Data Adquisition*. Estos requieren un diseño de interfaz visual para acceder de manera remota al proceso, además asocian un nivel de seguridad a las personas autorizadas para poder realizar cambios sobre las variables de control.

El sistema SCADA nace bajo la necesidad de supervisar y controlar señales en procesos de alta peligrosidad y donde intervengan una gran cantidad de elementos distribuidos en un lugar de grandes dimensiones que impliquen grandes distancias a recorrer. Actualmente, se están implementando a niveles industriales sistemas SCADA web, los cuales permiten acceder al proceso de control desde un dispositivo con conexión a internet. Esto es de gran utilidad e importancia debido a que el operador puede acceder al sistema de control, recibir notificaciones de alarmas o realizar supervisión del sistema vía web, aún cuando éste no se encuentre en la planta.

Con el tiempo y debido al desarrollo de los procesos industriales de grandes dimensiones, los sistemas SCADA se han ampliado para disminuir los riesgos de falla, incluyendo una distribución del control sobre dichos procesos y asignando diversos computadores para distintas zonas, con la posibilidad de contar con un computador principal.

2.7. TRANSMISIÓN DE SEÑALES ANALÓGICAS. REDES DE CAMPO INDUSTRIALES

En la industria existen dos tipos de transmisión de señales analógicas, señal analógica en corriente 4-20 mA y señal analógica en tensión 0-10 V. De igual forma, existen diversos métodos de comunicación que permiten transmitir de forma segura y eficiente los datos y señales de proceso, estos métodos de comunicación son

conocidos protocolos y redes de campo industriales. A continuación, se explica de forma genérica el funcionamiento de algunos de ellos.

2.7.1. Transmisión analógica en corriente y protocolo HART

Highway Addressable Remote Transducer o Transductor Remoto Direccional de Alta Velocidad, es un protocolo de comunicación capaz de enviar información digital a través conductores que transmitan una señal analógica en corriente 4-20mA. La señal característica de este protocolo se puede observar en la Figura 6 (a). El protocolo HART utiliza un tipo de modulación conocida como *Frequency Shift Keying* o FSK, la cual emplea una señal de modulación por frecuencia de pulsos binarios de 1 mA de amplitud. En la Figura 6 (b) se observan las frecuencias de uso para la transmisión, siendo 1200 Hz la frecuencia correspondiente al valor lógico 0 y 2200 Hz la frecuencia correspondiente al valor lógico 1. [20]

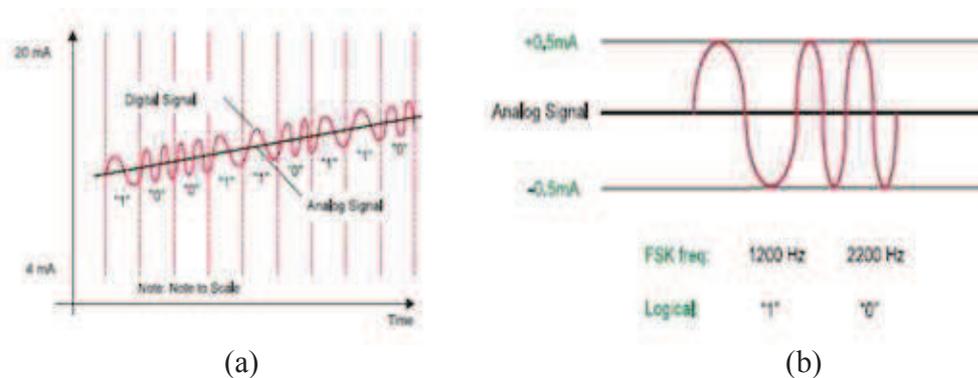


Figura 6. Protocolo HART. (a) Señal característica. (b) Modulación FSK. [20]

El protocolo HART permite comunicar a una velocidad de transmisión 1200 bits por segundo sin interferir o interrumpir la transmisión analógica de 4-20 mA, además permite integrar una señal digital encargada de notificar y habilitar la comunicación entre elementos. Esta red de campo está basada en la lógica comunicacional conocida como maestro-esclavo, la cual asigna como esclavo al

elemento que esté ubicado en campo siendo capaz de comunicarse con un elemento maestro, tal como un PLC o computador.

2.7.2. Red de campo ProfiBus

Creada en el año 1986, está basada en los estándares del protocolo de comunicación digital FieldBus. ProfiBus o *Process field Bus*, realiza la transmisión de datos entre diversos instrumentos y elementos como los controladores lógicos programables y computadores ubicados en una sala de control donde se encuentran los paneles de observación del proceso. [21]

ProfiBus trabaja mediante el principio del “*Token Passing*” o paso del testigo, el cual funciona como bandera de referencia para distinguir entre elementos activos y pasivos que se encuentren en el proceso de control. El testigo sólo es recibido por los elementos activos que estén conectados al bus y representa el derecho de transmisión de datos, luego es transmitido al siguiente elemento una vez que el primero finalice la comunicación [21].

Esta red de campo industrial soporta la interacción de una gran cantidad de equipos e instrumentos conectados en grandes anillos de comunicación. Se han desarrollado dos variaciones de esta red digital para optimizar su funcionamiento dependiendo de las condiciones del proceso: [22]

- ProfiBus DP: diseñado para altas velocidades de transmisión y por ende reducir los tiempos de reacción, haciéndola ideal para la comunicación entre dispositivos distribuidos en conexiones sencillas.
- ProfiBus PA: diseñado para la automatización de procesos, puede transmitir datos digitales a la vez que permite alimentar eléctricamente los dispositivos ubicados en áreas peligrosas mediante un cable bifilar.

Internacionalmente existen instituciones que establecen el tipo de uso que posee esta red de campo. Entre ellos se encuentran el Instituto Alemán de Normalización mediante la norma DIN 19245, y la Comisión Electrotécnica Internacional que establece el empleo de esta red de campo mediante la norma IEC 61158. [22]

2.7.3. Red de campo ProfiNet

Comercializada en el año 2005, la red de campo ProfiNet está internacionalmente estandarizada por la normativa IEC 61918:2012 *Industrial Communication Networks*. [23]

Conocida como la renovación del estándar abierto *Ethernet Industrial* de la Asociación FieldBus, registra en la actualidad un crecimiento de implementación industrial debido a la flexibilidad que presenta. Posee los servicios que caracterizan a la red de campo ProfiBus pero con en el uso de un método de comunicación conocido como proveedor-consumidor que ofrece la posibilidad de ampliación de la red de campo con nodos de comunicación, capaz de comunicar una gran cantidad de datos con una velocidad de 100Mbps/s [24]. ProfiNet está basado en el uso del protocolo TCP/IP el cual permite la transferencia bidireccional y multivariable de datos con alto nivel de rendimiento, velocidad y seguridad. Los elementos que se encuentran interconectados en dicha red poseen una dirección IP para su identificación que permite desarrollar una configuración de arquitectura comunicacional sencilla. [24]

Algunas de las características de funcionalidad que posee esta red de campo se reflejan a continuación: [23]

- *I-Device* o Identificación de Dispositivo: función que permite una comunicación sencilla y de alta velocidad entre controladores y dispositivos asignando una dirección IP como identificación.
- *Share Device* o Compartir Dispositivos: brinda el acceso de dos o más controladores a un mismo anillo de comunicación ProfiNet, permitiendo la comunicación entre cada uno de los elementos que forman parte de la red.
- *Media Redundancy Protocol* o Protocolo de Anillos Redundantes: permite realizar la comunicación entre dispositivos en arquitectura de anillo sin utilizar enrutadores de Ethernet Industrial, debido a los puertos RJ45 integrados en los equipos con red ProfiNet.

Debido a la flexibilidad y fácil acople que tiene este protocolo con los elementos industriales, permite plantear un nuevo esquema de interconexión inalámbrica de anillos de comunicación por medio de WLAN cumpliendo con el estándar IEEE 802.11. Además, el protocolo TCP/IP en ProfiNet permite utilizar tecnologías web como el acceso desde internet a elementos del proceso conectados a servidores en una red local. De igual forma, facilita la sustitución de un dispositivo mediante el *I-Device Controller* el cual detecta el nuevo dispositivo y le asigna automáticamente un nuevo nombre o dirección IP. [24]

2.8. NORMATIVAS EN EL DESARROLLO DE AUTOMATIZACIONES

En el desarrollo de proyectos de automatización existen normativas que rigen y estandarizan la fabricación, clasificación, canalización y uso de los elementos implementados. A continuación se mencionan algunas de dichas normas.

2.8.1. Norma IEC 60947

Norma de seguridad y empleo creada por la Comisión Electrotécnica Internacional (IEC), es utilizada en el ámbito industrial para la implementación de interruptores automáticos eléctricos de baja tensión. Cubre los aspectos de importancia como definiciones, prescripciones y empleos comunes. Específicamente la norma IEC 60947-2 aplica sobre las características de funcionamiento, clasificación, seguridad al operador e información de modo de empleo de interruptores automáticos utilizados en el desarrollo de proyectos de automatización industrial. [25]

2.8.2. Norma IEC 60204

Norma que rige los requisitos generales de seguridad de máquinas eléctricas. Destaca los aspectos y detalles de instalación de dispositivos con interfaz hombre máquina tales como pulsadores con y sin indicación luminosa propia, luces indicadoras, *displays*, dispositivos de arranque, dispositivos de indicación de alarma y para reconocimiento de emergencia [26]. Además, establece el estado al que está asociado un indicador luminoso, representándolo con sus respectivos colores tal como se muestra a continuación: [27]

- Luz piloto roja: Alarma, emergencia o condición peligrosa que requiere una acción inmediata.
- Luz piloto amarilla: Condición anormal que puede conllevar a una condición de emergencia o peligrosa.
- Luz piloto blanca: Indicación de información general o neutra.
- Luz piloto azul: acción obligatoria (acción del operador requerida).
- Luz piloto verde: funcionamiento normal.

2.8.3. Norma IEC 60445

Provee los principios fundamentales y estándares de seguridad a ser empleados en una interfaz hombre máquina, identificación y marcado de bornes de conexión y terminales de conductores utilizados en equipos eléctricos. [28]

2.8.4. Norma IEC 60446

Se enfoca en la estandarización de los colores y las notaciones alfanuméricas utilizadas para la identificación de conductores de tal forma que se evite ambigüedades y se vele por la seguridad de la instalación. [27]

2.8.5. Norma IEC 60447

En dicha norma se establecen los aspectos ergonómicos de la interfaz hombre máquina, de tal forma que el operador no esté en peligro durante el uso razonable de la interfaz. Además, refleja las características que deben tener estos elementos para que sean de fácil uso y que a su vez, el diseño implique el correcto funcionamiento de los mismos. [29]

2.8.6. Norma IEC 60417

Contiene la simbología gráfica que debe ser utilizada en etiquetas para identificar un equipo o parte de un equipo, indicando los estados de funcionalidad, conexiones designadas y aportando información acerca de las instrucciones de uso. La norma refleja que cada símbolo gráfico debe estar identificado con un número de referencia y un título asociado. Todo esto con la finalidad de poder transmitir información visual y textual perceptible por el operador. [30]

2.8.7. Norma IEC 60529. Normas IP y NEMA

Establece el estándar de clasificación de los grados de protección de instrumentos, unidades de control, dispositivos, tableros o gabinetes instalados en ámbitos industriales [31]. Para esto se define los grados de protección correspondientes mediante un parámetro conocido como *Internal Protection* o IP el cual propone la clasificación del grado de protección de sólidos y líquidos que el elemento a proteger debe poseer mediante el uso de dos caracteres numéricos IP “XY” [32]. Donde el carácter “X” corresponde al nivel de protección contra sólidos y el carácter “Y” corresponde al grado de protección contra el ingreso de agua.

Existe otra referencia utilizada para definir los grados de protección de los gabinetes y tableros instalados en la industria descrita por la *National Electrical Manufactures Association* o NEMA la cual define niveles de protección contra líquidos, lluvia, polvo, corrosión, entre otros. [32]

2.8.8. Norma ISA 5.1-5.5

Creadas por *The International Society of Automation* o Sociedad Internacional de Automatización, indican, clasifican y estandarizan el empleo de símbolos como identificación funcional de un elemento, instrumento, unidad de control, etc. y que describe la acción o propósito que realiza el elemento en el sistema de control [10]. La norma ISA 5.1 describe la simbología a utilizar en un diagrama de instrumentación y tuberías (P&ID) o plano de un proceso de control, dependiendo de la funcionalidad y ubicación del instrumento, de igual forma indica, la nomenclatura que debe ser empleada mediante una secuencia de dos o tres letras [10]: “La primera letra contiene la identificación de la variable medida (no la variable manipulada). La segunda y/o tercera letra cubren la función del instrumento”.

2.8.9. CÓDIGO ELÉCTRICO NACIONAL: 2009

Es la normativa principal que rige todos los aspectos de las instalaciones eléctricas que sean implementadas en el país, tales como el cableado, métodos de instalación, protección, acometidas, puesta a tierra, elementos a utilizar en dichas instalaciones, entre otros. Dicho código está basado en el Código Nacional Eléctrico publicado en inglés por la *National Fire Protection Association* NFPA, esto según el acuerdo existente entre el Comité de Electricidad de Venezuela CONELECTRA y la NFPA suscrito en 1997. A continuación se mencionan las secciones correspondientes a las consultas realizadas para la realización de este proyecto: [32]

- Capítulo 2: Cableado y protección.
 - Sección 240: Protección de Sobrecorriente.
 - Sección 250: Puesta a Tierra.
- Capítulo 3: Métodos de Cableado y Materiales.
 - Sección 300: Métodos de Cableado.
 - Sección 310: Conductores para Cableado en General. Tabla 310.14. Tabla de cajas metálicas normalizadas. Tabla 310.16. Ampacidades admisibles de los Conductores Aislados para tensiones nominales de 0 a 2000 Voltios y 60°C a 90°C.
 - Sección 312: Gabinetes, Cajas de Cortacircuitos y Envolvertes de Medidores.
 - Sección 314: Caja de salida, de Dispositivo, de Halado y Conexión; Conduletas; Accesorios y Tanquillas.
 - Sección 342: Tubo de Metal Intermedio: Tipo IMC.
 - Sección 350: Tubo Metálico Flexible Hermético a los Líquidos: Tipo LFMC.
- Capítulo 4: Equipo para Uso General.
 - Sección 406: Tomacorrientes, Conectores de Cordones y Enchufes.

CAPÍTULO III

SISTEMA DE DOSIFICACIÓN MANUAL DE REACTIVOS DE PROCESO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS BLANCAS “PLANTA RÍO NEVERÍ”

En el siguiente capítulo se describen los equipos, instrumentos y métodos de dosificación del químico coagulante y el floculante, previo a la automatización del sistema. Además, se exponen los requisitos formulados por el usuario final para el sistema de dosificación automática de los químicos.

3.1. EQUIPOS E INSTRUMENTOS DEL SISTEMA DE DOSIFICACIÓN PREVIA AUTOMATIZACIÓN

El sistema de tratamiento de aguas blancas llevado a cabo en la “Planta Río Neverí” consta de dos líneas principales de entrada de agua cruda, una de Ø12" de diámetro dirigida a los precipitadores 1, 2 y 3, y otra de Ø10" de diámetro que alimenta al precipitador 4. En dichas líneas se dosifica el químico coagulante mediante cuatro (4) bombas de dosificación marca Pulsafeeder Serie E Plus modelo LPH6. Por otra parte, el químico floculante se inyecta a las líneas principales mediante cuatro (4) bombas de dosificación marca Pulsafeeder Serie HV modelo LVF4 para químicos de alta viscosidad. Las cuatro (4) bombas de dosificación de cada químico están separadas en dos grupos, el primero conformado por dos (2) bombas (principal y auxiliar) encargadas de dosificar el químico correspondiente a la línea de agua cruda dirigida hacia los precipitadores 1, 2 y 3; mientras que el segundo grupo de dos (2) bombas (principal y auxiliar) dosifican el químico correspondiente a la línea de entrada de agua cruda que alimenta al precipitador 4.

Cada una de las ocho (8) bombas de dosificación de reactivos trabaja con el principio de funcionamiento electromagnético de diafragma. Poseen perillas para la selección de funcionamiento manual o automático, variación de cavidad y frecuencia de bombeo, además, cuenta con una entrada de señal analógica 4-20 mA.

La dosificación manual de químicos está basada en la medición de caudal de agua cruda utilizando el principio de presión diferencial con empleo de placa orificio. En la Figura 7, se puede observar la brida donde se encuentra ubicada la placa orificio para la medición del caudal de agua de entrada a la planta dirigida hacia los precipitadores 1, 2 y 3.



Figura 7. Brida utilizada para la medición de caudal por presión diferencial en la línea de proceso dirigida hacia los precipitadores 1, 2 y 3.

Para realizar esta medición la planta cuenta con dos (2) caudalímetros indicadores y transmisores marca Rosemount modelo 3051CD SMART FAMILY a prueba de explosión. En la Figura 8, se puede apreciar el panel visual que poseen estos caudalímetros, en el cual se indica la diferencia de presión medida en pulgadas de agua [in H₂O]. En la parte posterior del panel del instrumento se encuentran los terminales empleados para la transmisión de caudal (mediante protocolo HART) a la central de control de la planta.



Figura 8. Panel indicador de los caudalímetros existentes.

El primer caudalímetro está ubicado en la tubería de Ø12" de entrada de agua cruda dirigida hacia los precipitadores 1, 2 y 3, la cual maneja un rango de caudal de agua de 0 a 6.000 gpm. El segundo caudalímetro se encuentra instalado en la línea de proceso de Ø10" que transporta agua cruda hacia el precipitador 4 y maneja un rango de caudal de agua de 0 a 2.500 gpm. Ambas tuberías operan a una presión máxima de 85 psi.

Luego de que han sido inyectados los reactivos de proceso, se dosifica cal a una parte del agua que es dirigida hacia los precipitadores 1, 2 y 3 para disminuir la dureza de la misma. Esto se lleva a cabo mientras dicha agua es dirigida hacia unas placas fijas colocadas en zigzag para lograr la mezcla necesaria de los químicos, como se muestra en la Figura 9 (a). Entretanto, el agua de entrada con los químicos inyectados es dirigida a los cuatro (4) precipitadores que posee la planta, donde se realiza el proceso de sedimentación de los flóculos formados. En la Figura 9 (b), se puede observar una vista superior del precipitador 3.



(a)



(b)

Figura 9. Vistas de la planta. (a) Etapa de mezclado. (b) Precipitador 3 ubicado en la planta.

El agua que se encuentra en los cuatro (4) precipitadores se bombea hacia el tanque de agua precipitada de 75.000 galones de capacidad con el que cuenta la planta. Desde dicho tanque el agua es dirigida hacia la batería de filtros de salida de la planta, donde se retiran las partículas suspendidas que no pudieron ser suprimidas por la acción de los químicos y es enviada como agua potabilizada hacia los tanques de agua filtrada, que a su vez se utilizan para alimentar los tanques reservorios de agua que surten a la Refinería PDVSA Puerto La Cruz.

En la Figura 10 se presenta el diagrama de tuberías e instrumentación (P&ID), con los elementos e instrumentos que intervienen en el proceso de la dosificación de químico coagulante y de químico floculante previo la automatización del sistema.

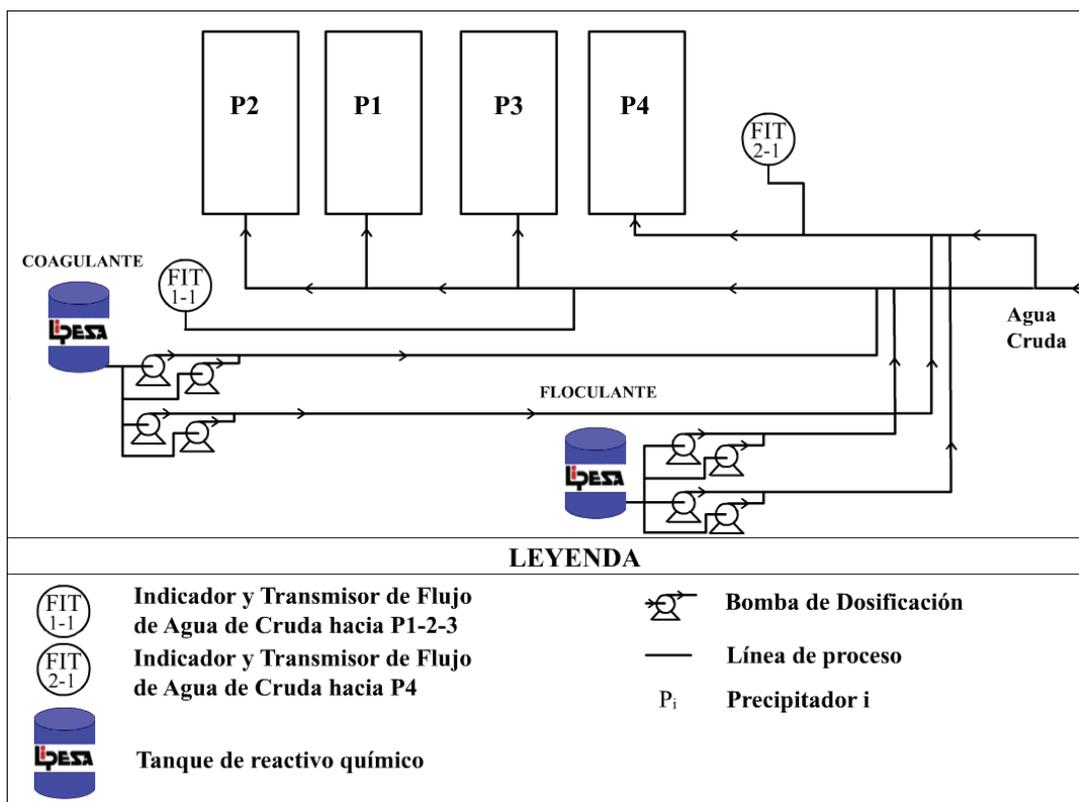


Figura 10. Diagrama de tuberías e instrumentación del proceso de dosificación previa la automatización.

3.2. PROCESO DE DOSIFICACIÓN DE REACTIVOS PREVIA AUTOMATIZACIÓN

El procedimiento de dosificación manual del químico coagulante y el floculante, es efectuado por los operadores haciendo una supervisión cada hora del caudal de agua cruda de entrada a la planta por cada una de las dos líneas principales. La turbidez del agua de entrada es medida con una muestra tomada de una tubería auxiliar identificada como “RÍO NEVERÍ” ubicada en el laboratorio de la caseta de la planta, dicha tubería puede ser visualizada en la Figura 11. La medición de turbidez de la muestra es realizada empleando un turbidímetro de laboratorio.



Figura 11. Tuberías para toma de muestras de agua.

Luego de determinar la turbidez del agua de entrada a la planta, los operadores realizan una prueba denominada prueba de jarra, la cual consiste en llenar una jarra graduada con una cierta cantidad de agua a tratar y seguidamente, agregarle una dosis de químico coagulante y químico floculante correspondiente a dicha cantidad de agua y a la turbidez medida. Posteriormente, se coloca un pequeño agitador dentro de la jarra para mezclar los químicos y se espera un período de tiempo para que los reactivos agregados hagan efecto y los flóculos formados puedan precipitar. Luego de que los químicos han hecho reacción con las partículas disueltas, los operadores observan el flóculo formado y verifican que el índice de floculación de Willcomb que lo caracteriza es el adecuado y que la turbidez del agua tratada se encuentre en el rango deseado.

Posteriormente, los operadores toman una muestra de agua de la parte alta de la jarra y la colocan en el turbidímetro ubicado en el laboratorio con el fin de verificar si la dosis de químicos agregada reduce la turbidez del agua tratada a un rango indicado en la Gaceta Oficial Número 36.395 [11]. Una vez hecha esta verificación, los operadores realizan el escalamiento de dosis de químico necesario basados en el flujo de agua de entrada a los precipitadores 1, 2 y 3, así como en el flujo de agua de entrada hacia el precipitador 4.

Seguidamente, la dosificación del químico coagulante y del químico floculante es regulada por los operadores mediante el ajuste de la perilla de *stroke* y la perilla de frecuencia de las bombas dosificadoras, como se observan en la Figura 12. El ajuste de la frecuencia de bombeo se efectúa con las bombas funcionando en modo manual.

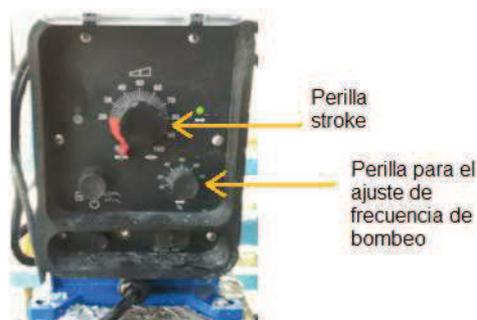


Figura 12. Vista frontal de las perillas de ajuste de dosificación.

Una vez realizados los ajustes de las perillas, los operadores miden el flujo de dosificación en cada una de las bombas a través de un tubo graduado (ml de químico por período de tiempo) con la finalidad de corroborar que se está inyectando la dosis de químico previamente calculada.

3.3. REQUERIMIENTOS DEL USUARIO PARA LA AUTOMATIZACIÓN DE DOSIFICACIÓN DE REACTIVOS

La Planta Río Neverí requería la automatización de la dosificación del químico coagulante y el floculante a las líneas de proceso con el empleo de las bombas dosificadores presentes en la planta. Además, demandaba la instalación de un (1) turbidímetro para la medición de agua cruda directamente en la línea de entrada, así como de un (1) turbidímetro para la medición de turbidez de agua precipitada. De esta forma los operadores pueden realizar la verificación de la turbidez del agua precipitada y corroborar que se encuentre en los límites de turbidez adecuados.

Para efectos del diseño de la lógica de control el cliente suministró cuatro (4) tablas construidas por los operadores de la planta, donde se muestra el flujo de dosificación de cada químico para ciertas condiciones de turbidez y caudal del agua a tratar. Dos (2) de las cuatro (4) tablas contienen la dosis de químico coagulante para la línea de proceso dirigida hacia los precipitadores 1, 2 y 3, y para la línea de proceso dirigida hacia el precipitador 4. Las otras dos (2) tablas contienen la dosis de químico floculante que debe ser inyectada a las líneas de proceso previamente mencionadas.

El cliente solicitó un método de control en el que se pudieran cargar los valores de las tablas construidas por ellos, de esta forma, aún estando automatizado el sistema se podrían realizar los ajustes correspondientes en caso de que ocurran cambios inesperados e impredecibles en la turbidez del Río Neverí.

Además de las tablas de flujo de dosificación suministradas, los ingenieros entregaron históricos de datos con los valores de turbidez del agua cruda, el agua presente en cada precipitador y el agua del tanque de agua precipitada los cuales se encuentran en el Anexo 1.

En la Tabla 3, se presentan los valores de turbidez manejados por los operadores luego de la dosificación del químico coagulante y el químico floculante.

Tabla 3. Valores de turbidez de agua precipitada suministrados.

Turbidez de agua precipitada requerida	Clasificación asignada
5 NTU	Turbidez permisible
10 NTU	Turbidez máxima aceptable

Por otra parte, el valor máximo de medición de turbidez de agua cruda que ha sido requerido es de 3.000 NTU, esto debido a que valores tan altos de turbidez de agua de entrada implica la presencia de gran cantidad de lodo en el agua a tratar. Si se registrara un aumento de turbidez de esta magnitud por un largo periodo de tiempo, queda a disposición del operador detener la dosificación del químico coagulante y el químico floculante, ya que sería en vano la inyección de los mismos a las líneas de proceso.

3.4. PLANTEAMIENTO DE LA PROPUESTA PREVIA PARA LA AUTOMATIZACIÓN DE DOSIFICACIÓN DE QUÍMICOS

Basados en los requerimientos suministrados por el cliente y un previo análisis del proceso y factibilidad correspondiente, el cuerpo técnico de la empresa EDT Ingeniería propuso un sistema de automatización que consta de la selección de los controladores lógicos programables, relés de conmutación, luces piloto, dispositivos de protección, tableros de control y pantallas táctiles.

De forma general, la propuesta presentada consta de dos etapas, la primera consiste en la adquisición de las señales analógicas de interés, las cuales serían digitalizadas para la transmisión de las mismas hacia la segunda etapa, en la cual se realizarían los cálculos necesarios para el control de la dosificación de químico coagulante y del químico floculante.

En esta sección se presentan los elementos contenidos en la propuesta llevada a cabo por la empresa.

3.4.1. Elementos de la propuesta realizada

La primera etapa de la propuesta encargada de la adquisición, digitalización y transmisión de las variables de proceso, estaría conformada por un (1) PLC modelo SIMATIC S7-1200 marca Siemens, un (1) módulo entrada/salida analógica modelo SM 1234 marca Siemens, el cual permitiría la adquisición de señales analógicas en transmisión de 4-20 mA ó 0-10 V, y un (1) módulo de comunicación para la transmisión/recepción de datos modelo CSM1277, el cual utiliza ProfiNet como red de campo comunicacional. Las especificaciones técnicas de los elementos mencionados se encuentran en el Anexo 2(a).

La segunda parte de la propuesta está conformada por dos (2) PLCs modelo SIMATIC S7-1200 de la marca Siemens, uno encargado del control de la dosificación de químico coagulante y otro encargado del control de la dosificación del químico floculante. Ambos contarían con módulos de expansión de entradas y salidas analógicas para ejercer control sobre las bombas de dosificación mediante cuatro (4) salidas analógicas de 4-20 mA, así como con un módulo de comunicación para la transmisión y recepción de datos; dichos módulos son del mismo modelo y marca mencionados en la primera parte del sistema propuesto.

Cada uno de los dos (2) PLCs encargados de realizar el control de la dosificación de químicos disponen de una pantalla táctil modelo KTP 600 PN 6'' marca Siemens, cuya finalidad es brindar una interacción amigable proceso-operador mediante el diseño de una interfaz visual hombre máquina (HMI).

3.4.2. Elementos de protección de la propuesta realizada

La etapa de adquisición y digitalización de señales analógicas se encuentra protegida por un tablero de acero inoxidable de dimensiones 600x600x210 mm, con grado de protección IP66, marca Rittal, el cual contiene una indicación luminosa externa de color verde para indicar que el mismo está energizado.

En dos tableros de poliéster con grado de protección IP66 de dimensiones 800x600x300 mm marca Rittal, se colocan los PLCs, pantallas HMI y elementos destinados para el control de dosificación de químico coagulante y químico floculante. Cada uno de estos tableros en su parte externa tienen los siguientes dispositivos:

- Una (1) luz piloto verde externa para indicar que el tablero se encuentra energizado.
- Una (1) luz piloto roja y un (1) elemento sonoro para ser activados en la ocurrencia de una alarma en el sistema.
- Cuatro (4) luces piloto de color verde para indicar la alimentación eléctrica de cada una de las bombas de dosificación.
- Una (1) pantalla táctil HMI para la interacción del operador con el proceso.
- Un (1) pulsador para realizar la conmutación, encendido paralelo y el apagado de las bombas principal y auxiliar de dosificación del químico correspondiente hacia los precipitadores 1, 2 y 3.
- Un (1) pulsador para realizar la conmutación, encendido paralelo y el apagado de las bombas principal y auxiliar de dosificación del químico correspondiente hacia el precipitador 4.

Los elementos mencionados poseen la identificación correspondiente según sea necesario. Los tableros de dosificación tienen una configuración externa idéntica entre sí y puede ser observado en la Figura 13.



Figura 13. Aspecto externo de los tableros de control de dosificación de químicos

En la parte interna de cada uno de los tres tableros, se dispone de un (1) relé interruptor magnetotérmico y un supervisor de tensión para la alimentación eléctrica general del tablero, bornes de conexión con sus respectivas protecciones contra cortocircuito (fusibles) y una fuente de 24 V_{DC} para la alimentación del controlador y módulos asociados. Los dos tableros de control de dosificación del químico coagulante y el floculante poseen cuatro (4) relés para el control directo sobre la alimentación eléctrica de las bombas de dosificación.

En los siguientes capítulos se presenta el diseño de la lógica de control para la adquisición de señales analógicas y control de la dosificación de químicos, diseño de HMI para las pantallas táctiles de los tableros de dosificación, selección de turbidímetros a ser implementados en el sistema y el diseño de las canalizaciones para la instalación del sistema, completando así la propuesta previa para el sistema de control de dosificación automática de químicos en la PTAB Río Neverí. En general, la propuesta del sistema automatizado reflejada en un esquema se muestra en la Figura 14.

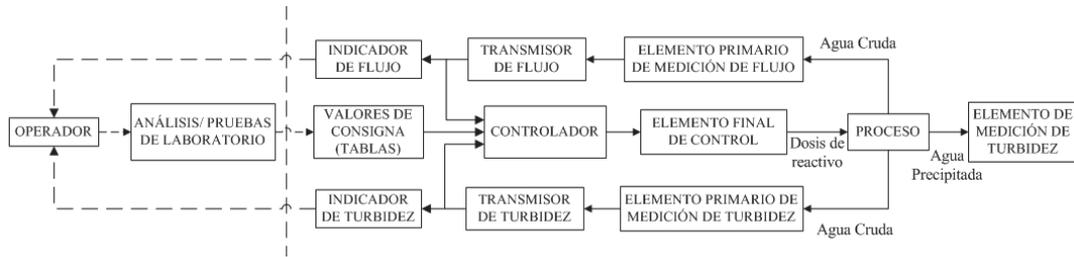


Figura 14. Esquema de bloques del sistema de la propuesta previa realizada por la empresa.

A continuación, en la Figura 15 se muestra el diagrama de tuberías e instrumentación correspondiente al sistema de dosificación automática de químico coagulante y de químico floculante.

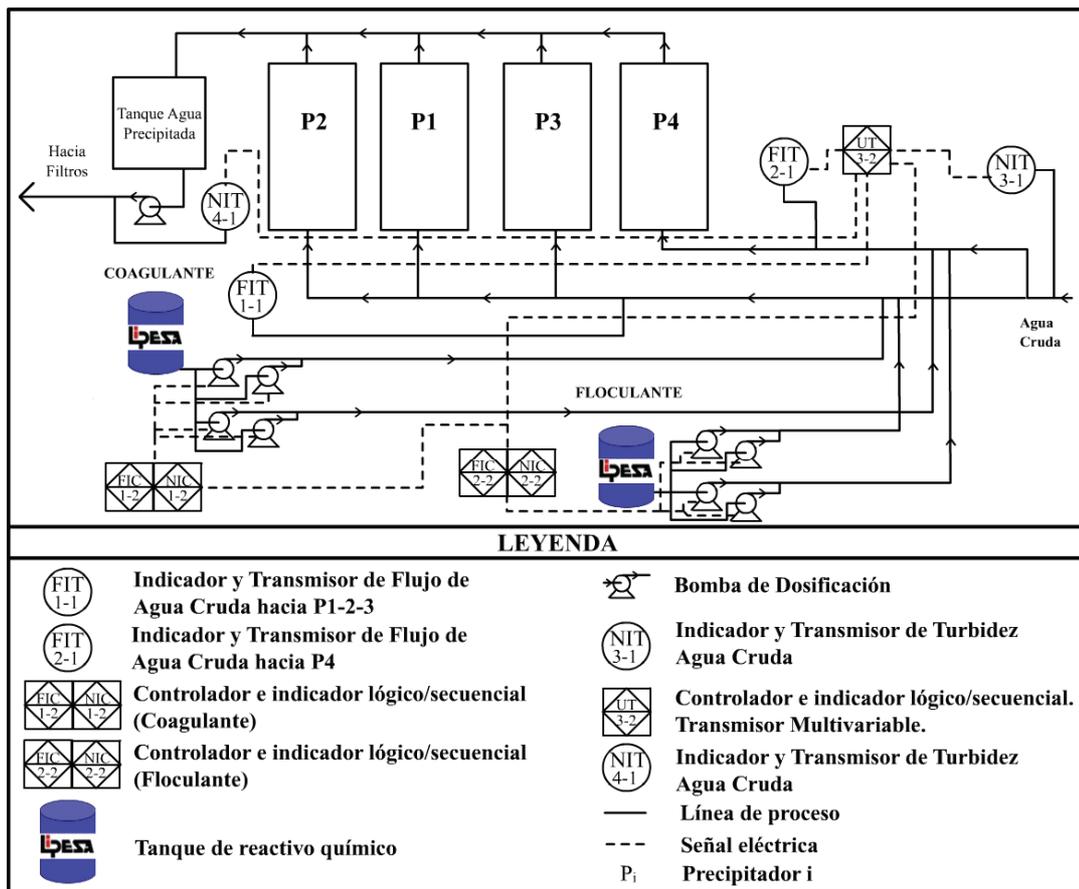


Figura 15. Diagrama de tuberías e instrumentación del sistema de dosificación automática del químico coagulante y el químico floculante.

CAPÍTULO IV

VALIDACIÓN DEL SISTEMA DE DOSIFICACIÓN AUTOMÁTICA PROPUESTO Y SELECCIÓN DE INTRUMENTOS

4.1. VALIDACIÓN DEL DISEÑO PROPUESTO Y ELEMENTOS QUE LOS CONFORMAN

En esta sección se valida la propuesta de control y los elementos seleccionados por la empresa EDT Ingeniería C.A., presentada al usuario final. Esta validación está fundamentada en la compatibilidad de los elementos seleccionados con la naturaleza del proceso y el cumplimiento de las normas que rigen su implementación y funcionamiento.

4.1.1. Distribución de control

Debido a que las bombas de dosificación del químico coagulante y el químico floculante, se encuentran separadas por una distancia de aproximadamente 60 metros, el planteamiento de descentralizar el control de la dosificación y realizarlo de manera separada, permite evitar que las señales analógicas de control que serán enviadas a las bombas, no sufran errores en la transmisión al recorrer grandes distancias, además de esta forma se reduce significativamente la cantidad de cables necesaria para llevar la alimentación y comunicación de las bombas, pantallas, botonería, elementos de indicación, entre otros.

De igual forma, con esta descentralización del control de dosificación, se prevé que si existe alguna falla en los elementos que intervienen en la dosificación de un reactivo, ésta no afectará el proceso de dosificación automática del otro reactivo.

Adicionalmente, por requerimiento del usuario final es necesaria la incorporación de una pantalla por cada dosificación de químicos para realizar los ajustes y calibraciones de las bombas, lo cual facilita la introducción y modificación de parámetros de consigna y evita posibles errores humanos.

Asimismo, la propia naturaleza del proceso implica la distribución del control de sistemas descentralizados que funcionen de forma independiente, pero que se rijan por variables comunes del proceso.

Las razones expuestas permiten validar la selección de una topología distribuida de control basada en las características del sistema, dimensiones de la planta y el tipo de señal de control que se plantea en la automatización propuesta.

4.1.2. Elemento de procesamiento y control

Debido a las características y circunstancias del entorno donde se realiza el proceso de dosificación del químico coagulante y el floculante, así como la complejidad en el cálculo asociado a las variables de interés, el elemento de procesamiento y control debe tener capacidad de memoria y cálculo adecuada, robustez requerida para operar en la planta, compatibilidad con los elementos que se encuentran instalados antes de automatizar y características técnicas que permitan la comunicación con el resto de los elementos que forman parte de la propuesta.

El dispositivo encargado de la adquisición y digitalización de datos analógicos de las variables de interés, debe poseer una (1) salida digital para la indicación luminosa de encendido del mismo y por lo menos la capacidad de adquisición de cuatro (4) señales analógicas:

- Caudal de agua cruda dirigida hacia los precipitadores 1, 2 y 3.
- Caudal de agua cruda dirigida hacia el precipitador 4.
- Turbidez de agua de cruda de entrada a la planta.
- Turbidez de agua precipitada.

Por otra parte, los dispositivos encargados del control de dosificación de químicos deben tener seis (6) salidas digitales para indicaciones luminosas, una (1) para la luz piloto de indicación del estado energizado del tablero, una (1) para la luz piloto y elemento sonoro de indicación de alarma y cuatro (4) para las luces piloto de indicación de la alimentación eléctrica de cada una de las bombas de dosificación; así como cuatro (4) salidas analógicas para el control de las cuatro (4) bombas de dosificación.

Basado en las características mencionadas anteriormente, así como en los requerimientos del usuario, se descarta el empleo de relés programables, ya que en su mayoría están destinados a pequeñas aplicaciones y procesos simples, que no implican el procesamiento de cálculos complejos.

Por su parte los dispositivos PACs (DCS), debido a sus propiedades de computador industrial, están diseñados para realizar control en procesos de grandes dimensiones, donde intervengan una gran cantidad de elementos, dispositivos de control locales y variables de interés, mediante una conexión de plataforma única entre todos los elementos. Estas prestaciones sobrepasan las necesidades requeridas para ejercer control sobre el proceso en cuestión.

Finalmente, entre los tres tipos de dispositivos de control mencionados en la sección 2.6, el PLC posee la robustez necesaria, capacidad de memoria, velocidad de procesamiento y cálculo, posibilidad de comunicación en diferentes protocolos y capacidad de expansión mediante módulos. Por tanto, resulta el más adecuado para ser implementado como dispositivo de control en el sistema de dosificación deseado.

En la Figura 16, se presenta un diagrama comparativo donde se muestran las características requeridas por el proceso y se compara el PLC Siemens S7-1200 CPU 1214C seleccionado en la propuesta con un PLC de características similares disponible en el mercado nacional. En dicho diagrama se plasman las capacidades de estos controladores con el máximo manejo de entradas y salidas (digitales y analógicas) mediante módulos de expansión indicadas por el fabricante. En éste se puede observar que el PLC Siemens S7-1200 cubre todos los requerimientos técnicos del proceso, donde cabe destacar que por cada uno de los tres (3) PLCs contemplados en la propuesta se utilizaría un cuarto de la capacidad de manejo máxima de señales analógicas.

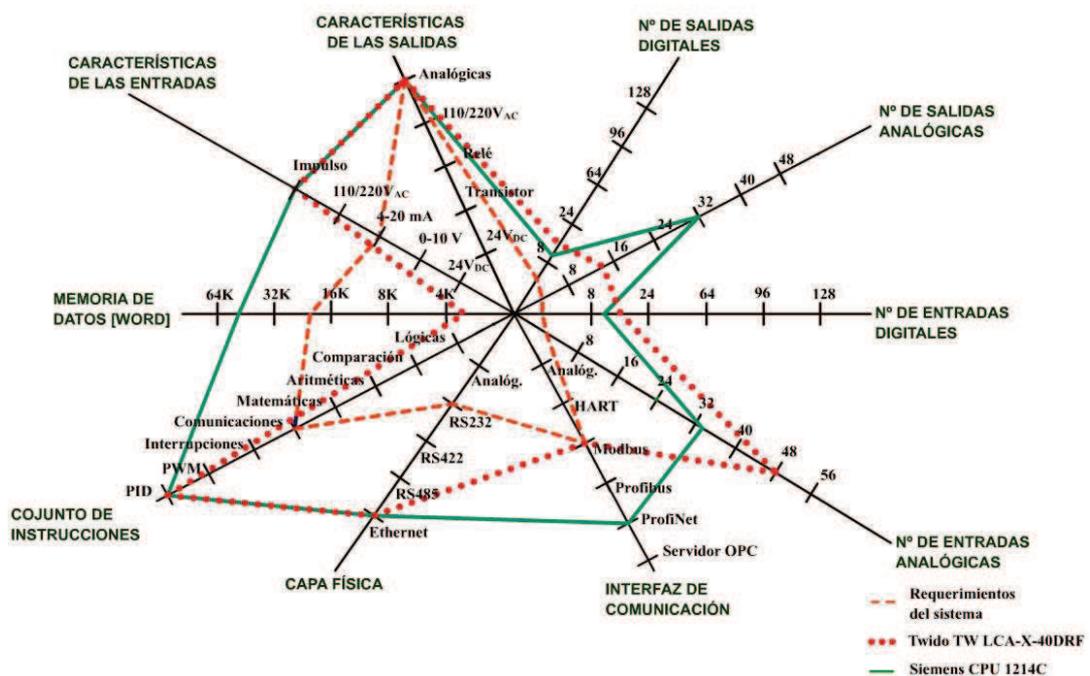


Figura 16. Diagrama comparativo para validación del controlador propuesto.

Cada una de las características mencionadas muestran y validan la capacidad de adaptación a las necesidades del proceso que posee el controlador propuesto. Sin embargo, el módulo que integra al CPU por sí sólo no tiene la capacidad de manejo de las entradas y salidas analógicas requeridas por el proceso, por lo que se hace

necesario adicionar módulos que amplíen la capacidad de manejo de las señales analógicas necesarias para la adquisición de las variables de interés, así como para el control de las bombas de dosificación.

4.1.3. Módulo de entrada y salida analógica

Para el PLC Siemens SIMATIC S7-1200 existen en el mercado cinco (5) módulos de ampliación compatibles para el manejo de señales, pero únicamente el módulo Siemens SM1234 está diseñado con capacidad de manejo de señales de entrada/salida analógicas en tensión/corriente mediante cuatro (4) terminales de entrada y dos (2) terminales de salida. En la Tabla 4 se muestran los rangos de operación de señales analógicas de este módulo:

Tabla 4. Rango de señales analógicas módulo SM1234.

Tipo de señal	Rangos de entrada	Rangos de salida
Tensión	$\pm 10 \text{ V}, \pm 5 \text{ V}, \pm 2,5 \text{ V}.$	$-10 \text{ V} \dots +10 \text{ V}.$
Corriente	0-20 mA.	0-20 mA.

Aunque se conoce que las señales analógicas en corriente manejadas por los instrumentos y equipos del proceso de interés ubicados en la planta son del tipo 4-20 mA, el PLC posee un bloque lógico interno de escalamiento de una señal analógica de 0-20 mA a 4-20mA y otro bloque lógico interno que realiza el escalamiento de forma inversa. Esto permite que el módulo de entrada/salida analógica propuesto sea el adecuado para la finalidad requerida del proceso.

4.1.4. Módulo comunicación

El módulo de comunicación CSM 1277 marca Siemens posee cuatro (4) puertos RJ45 para la conexión industrial Ethernet, lo cual permite ampliar la red de campo industrial ProfiNet utilizada por el PLC Siemens SIMATIC S7-1200,

posibilitando la comunicación con otros controladores o pantallas de interacción a ser utilizados.

4.1.5. Pantallas para visualización e interacción con el proceso

Debido a la complejidad del proceso y a los requerimientos del usuario final, en la propuesta se incluye la implementación de dos pantallas táctiles con la finalidad de permitir a los operadores interactuar de forma sencilla y amigable con el proceso.

La línea de pantallas compatibles con el PLC Siemens SIMATIC S7-1200 cuenta con cinco (5) modelos de características distintas, tales como la dimensión de la pantalla, disponibilidad de color y botones físicos.

La pantalla táctil a color Siemens KPT600 PN de 6", brinda una interacción sencilla y amigable del operador con el proceso, mediante el toque de la pantalla y seis (6) teclas físicas que posee externamente. Su método de instalación, así como el diseño externo, cumplen con los parámetros establecidos en la norma IEC 60204 aplicada a interfaces hombre máquina. Además, la cara frontal de esta pantalla cuenta con un grado de protección IP65 el cual impide entrada de polvo y chorros de agua, permitiendo su implementación en un proceso de tratamiento de aguas blancas.

4.1.6. Tableros de protección

Los tableros de control contemplados en la propuesta, cuentan con grado de protección IP66, que de acuerdo a lo indicado en la norma IEC 60529 [31], no permite la entrada de polvo, chorros muy potentes de agua y previene la corrosión. Dichos grados de protección también se encuentran reflejados en la norma nacional COVENIN 540:1998 [33] la cual está basada en la norma IEC 60529. Además, los tableros cumplen con lo indicado en el punto 312.2 del CEN 2009 [32] sobre gabinetes a ser instalados en lugares húmedos o mojados, cumpliendo con los

requisitos necesarios para ser implementados en las instalaciones de la planta. Además, los tableros fueron dimensionados de acuerdo a la cantidad de elementos que van a proteger y presentan espacio de reserva para ser utilizado en caso de una expansión futura del sistema.

Los elementos de interfaz hombre máquina instalados en la parte externa de los tableros, tales como luces piloto y pulsadores, cumplen con las normas IEC 60204 [26] e IEC 60445 [28]. Los elementos de protección presentes en los tres tableros, tales como, el relé interruptor magnetotérmico para energizar los circuitos de control y fusibles para protección contra cortocircuito, cumplen con la norma IEC 60947 [25] así como con lo indicado en la sección 240 del CEN 2009.

4.2. SELECCIÓN DE TURBIDÍMETROS DE AGUA CRUDA Y AGUA PRECIPITADA

Los instrumentos diseñados para la medición de turbidez, así como su principio de funcionamiento, varían dependiendo de las condiciones del proceso donde serán utilizados. Conocidos los requerimientos realizados por el cliente, es necesario medir la turbidez de agua cruda del Río Neverí y la del agua precipitada, de tal forma que las características de medición de los instrumentos cumplan con los requerimientos exigidos y con las condiciones presentes en cada una de estas mediciones.

4.2.1. Medición de turbidez de agua cruda

Basado en las mediciones realizadas por los ingenieros de planta reflejadas en el Anexo 1, donde se muestran variaciones de turbidez de agua cruda en el mes de diciembre de 2011, así como en el requerimiento para la instalación, el instrumento a

seleccionar debe contar con un rango de medición que cubra los 3.000 NTU. Además, debe poseer las características necesarias para ser instalado en la línea de agua cruda, con la finalidad de obtener una medición fiel y en tiempo real de dicha variable. Asimismo, deben ser consideradas las condiciones de uso, grado de protección, compatibilidad con el sistema de dosificación automático planteado y el principio de funcionamiento acorde al rango de medición deseado.

Existen diversas casas fabricantes de turbidímetros de alto rango de medición, entre algunas se puede mencionar HACH, ATI, DPF Sensors, entre otros. Para comenzar con el proceso de selección se descartan los turbidímetros que son clasificados como de laboratorio o portátiles, los cuales no pueden ser instalados en las líneas de proceso de entrada de agua cruda a la planta. De igual forma, son descartadas las marcas que sólo ofrecen el sensor de turbidez sin un panel de interacción que permita realizar la calibración del instrumento, ajuste del rango de medición, selección de salida analógica y otros ajustes que puedan ser de interés para el operador.

Cada uno de los diseños de los turbidímetros fabricados por estas marcas posee prestaciones que pueden ser necesarias o innecesarias dependiendo del proceso donde serán implementados. Algunas de las características y parámetros que poseen éstos instrumentos se muestran en la Tabla 5.

De acuerdo a los parámetros y requerimientos establecidos por el usuario, dentro de las opciones analizadas, el turbidímetro HACH modelo Surface Scatter 7 posee el mayor rango de medición, permitiendo registrar picos de turbidez en condiciones que superen los 3.000 NTU, pero es descartado ya que dicho rango está muy por encima del solicitado por el cliente.

Tabla 5. Características de los turbidímetros considerados para la medición de turbidez de agua cruda.

	HACH modelo SOLITAX t-line sc	DPF SENSORS modelo TU8105	HACH modelo Surface Scatter 7 sc	ATI modelo A15/76
Unidades de Medición	NTU / NFU	NTU	NTU	NTU
Rango de Medición	0,001 NTU a 4.000 NTU	0 NTU a 4000 NTU	0 NTU a 9.999 NTU	0 NTU a 4000 NTU
Resolución de lectura	Menor a 0,01 NTU a plena escala	1 NTU a plena escala	0,01 NTU a plena escala	0,2 NTU a plena escala
Principio de Funcionamiento	Nefelométrico con empleo dos (2) emisores de haz de luz infrarroja. Receptores ubicados en 90° y 45° del haz de luz emitido.	Nefelométrico, un (1) receptor y (1) un emisor de luz infrarroja posicionado a 90°	Nefelométrico, fuente de luz infrarroja de alta intensidad, tres (3) receptores colocados de forma paralela a 90° del haz de luz emitido	Nefelométrico, un (1) receptor y (1) un emisor de luz infrarroja posicionado a 90°
Autolimpieza del sensor	Integrado. Opcional	Kit de limpieza manual aparte del sensor. Opcional.	Kit de limpieza automático aparte del sensor. Opcional.	Kit de limpieza automático aparte del sensor. Opcional.
Protección del Panel	NEMA 4X	IP 68	NEMA 4X	NEMA 4x
Presión admisible en la línea de proceso	87 PSI	6 BAR \cong 87PSI	N/A*	100 PSI
Temperatura de Operación	0°C – 40°C	0°C – 50°C	0°C – 50°C	0°C – 50°C
Transmisión Analógica	4-20 mA	0-20mA / 4-20 mA	4-20 mA	4-20 mA
Historiador de Data	Tarjeta SD con capacidad para guardar 6 meses de datos	No posee	No posee	No posee
Distribuidor y/o soporte en el país	Si	No	Si	Si

*N/A: No aparece.

Debido a que la medición que se está realizando requiere una resolución de aproximadamente 1 NTU para la turbidez de agua cruda, no es necesario que el instrumento maneje resoluciones como las del turbidímetro HACH modelo SOLITAX t-line sc, el cual cuenta con una resolución de 0,01 NTU a plena escala (0

– 4.000 NTU) y un historiador de data integrado capaz de almacenar información de seis (6) meses de medición. Estas características aunque son ventajosas y de alto rendimiento, se ven fuertemente reflejadas en el costo del instrumento y no son necesarias para el tipo de medición que se desea realizar.

DPF Sensores es una casa española que fabrica el turbidímetro con alto rango de medición modelo TU8105. Dicho turbidímetro cuenta con las características generales buscadas para la medición de turbidez de agua cruda, tal como transmisión analógica en corriente, una resolución de 1 NTU de plena escala y grado de protección NEMA 4X. Sin embargo, al igual que las dos opciones anteriores tiene una presión de operación de 87 psi, y por lo tanto es descartado por estar en el límite de presión de operación máxima para la línea de agua cruda (85 psi).

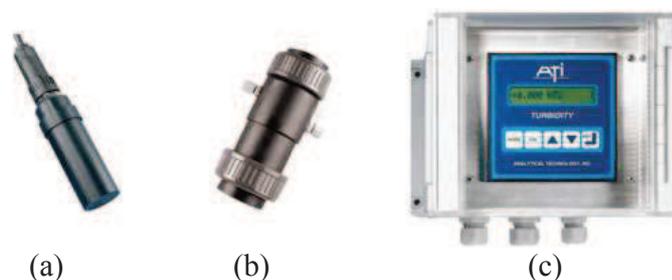


Figura 17. Turbidímetro seleccionado para agua cruda. (a) Sensor. (b) Kit de calibración. (c) Panel del instrumento.

Fuente: ATI. *A15-76 Turbidity Sensor. Datasheet.*--Estados Unidos: 2010.

Por último el turbidímetro de la marca Analytical Technology, Inc. (ATI) modelo A15/76, tiene las características adecuadas para la finalidad requerida, con un rango de medición de (0 – 4.000 NTU), resolución de 0,02 NTU a plena escala, transmisión analógica en corriente 4-20 mA, grado de protección del panel NEMA 4X y presión de operación de 100 PSI, lo cual le da un rango de operación mayor al de las tres opciones anteriores. Debido al cumplimiento de estas condiciones, se ha seleccionado el turbidímetro ATI modelo A15/76, de sensor óptico sumergible con principio nefelométrico de 90°, kit de calibración y panel de interacción. En la Figura 17 se muestran estos componentes del instrumento seleccionado.

4.2.2. Medición de turbidez de agua precipitada

Para la medición de turbidez de agua precipitada es necesario un turbidímetro que cuente con un rango de 0 a 20 NTU, panel de operación y que pueda ser instalado en la línea de agua precipitada. En base a los registros realizados por los operadores de la planta respecto a las variaciones de turbidez del agua precipitada en el mes de diciembre de 2011 presentados en el Anexo 1, se observa que el valor de turbidez en el tanque de agua precipitada varía en un rango de 2 a 10 NTU, siendo admisible según Gaceta Oficial Número 36.395 “Normas Sanitarias de Calidad de Agua Potable”. A continuación se muestran algunos turbidímetros diseñados por diversos fabricantes y con características de importancia para la selección:

Tabla 6. Características de los turbidímetros considerados para la medición de turbidez de agua precipitada.

	Georg Fischer Signet modelo 4150	Endress Hauser modelo Turbimax CUE22	Siemens modelo Wallace & Tiernan TMS 561
Unidades de Medición	NTU / NFU	NTU / NFU	NTU
Rango de Medición	1 NTU a 100 NTU	0 NTU a 100 NTU	0 NTU a 100 NTU
Resolución de lectura	0,0001 NTU en escala de 0 a 10 NTU / 0,001 NTU en escala de 10 a 100 NTU	0,0001 NTU en escala de 0 a 10 NTU / 0,001 NTU en escala de 10 a 100 NTU	0,0001 NTU en escala de 0 a 10 NTU / 0,001 NTU en escala de 10 a 100 NTU
Principio de Funcionamiento	Nefelométrico, un (1) receptor y (1) un emisor de luz blanca posicionado a 90°	Nefelométrico, un (1) receptor y (1) un emisor de luz blanca posicionado a 90°	Nefelométrico con empleo de dos (2) emisores de haz de luz blanca. Receptores ubicados en 90° y 45° del haz de luz emitido.
Autolimpieza del sensor	No posee.	Si. Opcional.	Si
Grado de Protección del Panel	NEMA 4X	NEMA 4X	NEMA 4X
Kit de calibración	Si. Incluido con el instrumento	No. Venta aparte del instrumento	Si. Incluido con el instrumento
Temperatura de Operación	1°C – 50°C	0°C – 50°C	0°C – 50°C
Transmisión Analógica	4-20 mA	4-20 mA	4-20 mA
Historiador de Data	No posee	No posee	Opcional.
Distribuidor y/o soporte en el país	No	No	Si

Los tres modelos mencionados en la tabla anterior cumplen con las características necesarias y adecuadas para el proceso, de las cuales se pueden resaltar que poseen integrado un panel para interacción con el instrumento, transmisión analógica en corriente 4-20 mA, grado de protección necesario para ser implementado en campo y rango de medición acorde al requerido por el cliente.

Como se puede observar en la Tabla 6, los parámetros de diseño y fabricación de los instrumentos mostrados presentan características similares con ligeras diferencias entre sí, esto motivó a realizar la selección en base a la disponibilidad en el país en lugar de a las características técnicas. Basado en estas condiciones, se ha seleccionado el turbidímetro Siemens modelo Wallace & Tiernan TMS 561 para la medición de turbidez de agua precipitada. Este turbidímetro cuenta con un panel de interacción, mostrado en la Figura 18 (a), además de un sistema interno de autolimpieza del sensor y un kit de calibración constituido por tres muestras de turbidez (0,02 NTU, 10 NTU y 100 NTU), las cuales son mostradas en la Figura 18 (b).



Figura 18. Turbidímetro seleccionado para agua precipitada. (a) Panel del instrumento. (b) Muestras de calibración.

Fuente: Siemens. *Wallace & Tiernan Analytical Measurement TMS 561. Datasheet.*--Germany: 2010.

Las hojas de especificaciones técnicas de los sensores estudiados y de los turbidímetros escogidos se encuentran en el Anexo 2(b).

CAPÍTULO V

SISTEMA DE DOSIFICACIÓN AUTOMÁTICA DE COAGULANTE Y FLOCULANTE

En el presente capítulo se explica el diseño y programación de la lógica de control, HMI e implementación del sistema de dosificación automática coagulante y floculante a las líneas de entrada de agua cruda de la Planta Río Neverí.

5.1. DISEÑO DE LA LÓGICA DE CONTROL E INTERFAZ DE OPERACIÓN

Para el diseño de la lógica de control, se estudió el comportamiento del flujo de dosificación en las cuatro (4) tablas suministradas por los operadores de la planta. Es importante mencionar que debido a los datos de flujo de dosificación de químicos que éstas contienen, el cliente ha exigido la confidencialidad de las tablas y por tanto no pueden ser mostradas. Sin embargo, para el entendimiento de la lógica de control a ser explicada, se puede informar que en cada una de las cuatro (4) tablas suministradas se muestran diez (10) tramos continuos de turbidez de agua cruda, variaciones controladas del caudal de agua de entrada y el flujo de dosificación correspondiente a cada una de estas variaciones.

En la Tabla 7 se observa la estructura de una de las tablas con valores alterados motivo de la confidencialidad con el cliente final, pero de comportamiento similar del flujo de dosificación para cada tramo de turbidez y variación de caudal. En ésta se puede observar, que el flujo de dosificación calculado por los operadores, no es continuo entre los tramos de turbidez. El caudal del agua de entrada a la planta dirigida hacia los precipitadores está indicado en [gpm], la turbidez en [NTU], y el flujo de dosificación en [ml/min].

Tabla 7. Tabla con valores alterados de flujo de dosificación de coagulante hacia los precipitadores 1, 2 y 3.

TURBIDEZ [NTU]	0 - 40	40 - 100	100 - 200	200 - 300	300 - 500	500 - 700	700 - 1000	1000 - 1500	1500 - 2000	2000 - 3000
CAUDAL [gpm]	ml/min	ml/min	ml/min	ml/min	ml/min	ml/min	ml/min	ml/min	ml/min	ml/min
2500	68,54	85,98	100,64	116,88	134,55	152,62	169,21	189,03	211,78	248,14
2600	70,60	87,70	102,55	118,99	136,70	154,90	171,58	191,58	216,02	253,10
2700	72,71	89,46	104,50	121,13	138,89	157,23	173,98	194,16	220,34	258,16
2800	74,90	91,24	106,49	123,31	141,11	159,59	176,42	196,79	224,74	263,32
2900	77,14	93,07	108,51	125,53	143,37	161,98	178,89	199,44	229,24	268,59
3000	79,46	94,93	110,57	127,79	145,66	164,41	181,39	202,13	233,82	273,96
3100	81,84	96,83	112,67	130,09	147,99	166,88	183,93	204,86	238,50	279,44
3200	84,30	98,77	114,82	132,43	150,36	169,38	186,51	207,63	243,27	285,03
3300	86,82	100,74	117,00	134,81	152,77	171,92	189,12	210,43	248,14	290,73
3400	89,43	102,76	119,22	137,24	155,21	174,50	191,77	213,27	253,10	296,54
3500	92,11	104,81	121,48	139,71	157,69	177,12	194,45	216,15	258,16	302,48
3600	94,88	106,91	123,79	142,22	160,22	179,77	197,17	219,07	263,32	308,53
3700	97,72	109,05	126,15	144,78	162,78	182,47	199,93	222,03	268,59	314,70
3800	100,65	111,23	128,54	147,39	165,38	185,21	202,73	225,02	273,96	320,99
3900	103,67	113,45	130,98	150,04	168,03	187,98	205,57	228,06	279,44	327,41
4000	106,78	115,72	133,47	152,74	170,72	190,80	208,45	231,14	285,03	333,96

Basado en un estudio de las tablas suministradas, se pudo determinar que la correlación lineal del flujo de dosificación de ambos químicos en cada uno de los diez (10) tramos de turbidez de agua de entrada es muy cercana a 1, y por lo tanto puede ser modelado como una función lineal que depende del caudal de agua cruda y está definida a trozos a partir de la turbidez del agua entrada a la planta, mediante la expresión (1):

$$\text{Flujo de dosificación} = f(\text{Flujo agua cruda}, \text{Turbidez agua cruda}) \quad (1)$$

Por tanto se pueden modelar rectas para cada tramo de turbidez de agua de entrada a partir de dos puntos de flujo de dosificación. Un ejemplo de esto se puede observar en la Figura 19, donde se muestra la recta de dosificación correspondiente al tramo de turbidez de 500 – 700 NTU de la Tabla 7.

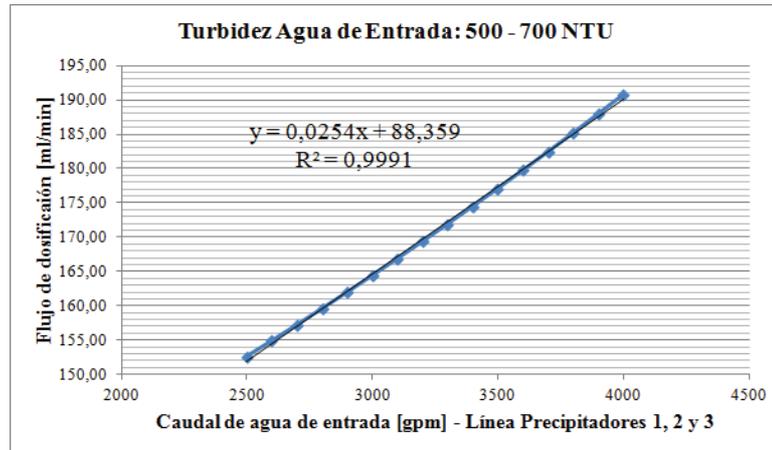


Figura 19. Recta de dosificación de coagulante hacia los precipitadores 1, 2 y 3 para turbidez de agua de entrada entre 500-700 NTU.

Basado en el comportamiento determinado del flujo de dosificación, se planteó la programación de un modelo genérico de recta por cada tramo de turbidez mostrada en la ecuación (4). Siendo Y el valor correspondiente al flujo de dosificación y X el caudal de agua de entrada a la planta expresada la ecuación general de la recta de la siguiente manera.

$$Y = m \cdot (X - X_1) + Y_1 \quad (2)$$

Con la finalidad permitir a los operadores editar el comportamiento de cada una de las rectas de dosificación, se agregaron dos factores de ajuste al modelo de la recta. Dichos parámetros son los siguientes:

Factor de ajuste de pendiente “*k*”: afecta la inclinación de la recta al multiplicar la pendiente de la misma por una constante. La pendiente ajustada se expresa en la siguiente ecuación:

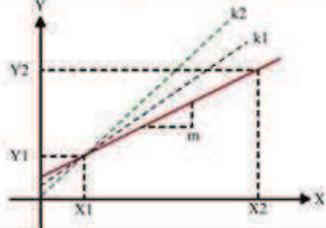
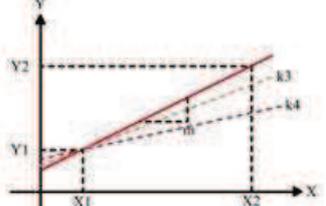
$$m' = m * k \quad (3)$$

Por tanto la ecuación genérica de la recta con este factor sería:

$$Y = m' \cdot (X - X1) + Y1 \quad (4)$$

De esta forma se presentan en la Tabla 8, cuatro (4) casos para el ajuste de la inclinación de la recta:

Tabla 8. Efectos del factor de ajuste de pendiente “k”.

k = 1	No se realiza ajuste de la pendiente	Y=f(X) con m'=m
k > 1		<p>donde $k2 > k1 > 0$</p> <ul style="list-style-type: none"> — Y=f(X) con m'=m - - - Y=f(X) con m'=m·k1 - - - Y=f(X) con m'=m·k2
0 < k < 1		<p>donde $1 > k3 > k4 > 0$</p> <ul style="list-style-type: none"> — Y=f(X) con m'=m - - - Y=f(X) con m'=m·k3 - - - Y=f(X) con m'=m·k4
k = 0		<p>Y=cte con m = 0</p>

Factor de ajuste de offset “b0”: modifica todos los puntos de la recta desplazándola en sentido vertical. La ecuación genérica de la recta con la adición de este factor queda expresada como:

$$Y = m' \cdot (X - X1) + Y1 + b0 \quad (5)$$

En la Figura 20 se muestran los efectos sobre la recta con las variaciones de este factor.

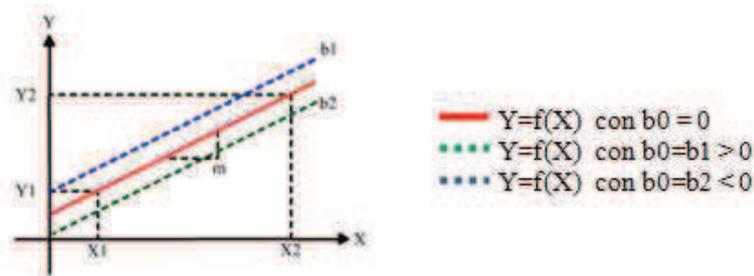


Figura 20. Efecto del factor de offset “b0”.

Con esta premisa de control definida, se diseñó y se programó una lógica de control que en esencia permita cargar las diez (10) rectas de dosificación obtenidas por los operadores de la planta, para cada uno los diez (10) diez tramos continuos de turbidez. De esta forma, los dos (2) PLCs de control de dosificación de químicos ubican la recta de dosificación comparando la turbidez de agua cruda medida con cada uno de los tramos de turbidez definidos. Una vez ubicada la recta, calculan el flujo a dosificar tomando caudal de agua de cruda como variable de entrada. El valor resultante del cálculo realizado es el flujo de dosificación correspondiente a las condiciones de turbidez y caudal dadas. Posteriormente, este valor es convertido de un dato digital a analógico para finalmente ser enviada como señal de control a las bombas de dosificación que estén seleccionadas para el funcionamiento.

Por otra parte, dado a que pueden existir pérdidas en las señales eléctricas y que las bombas de dosificación acumulan sedimentos con el transcurrir del tiempo, se añadió la posibilidad de calibración de las bombas de dosificación y de los instrumentos de medición. Adicionalmente, se agregó una lógica de control que permita la configuración de alarmas con la finalidad de notificar a los operadores valores de turbidez fuera de rango. A continuación, se muestra en la Figura 21 el diagrama de flujo general que engloba el funcionamiento de la lógica de control implementada.

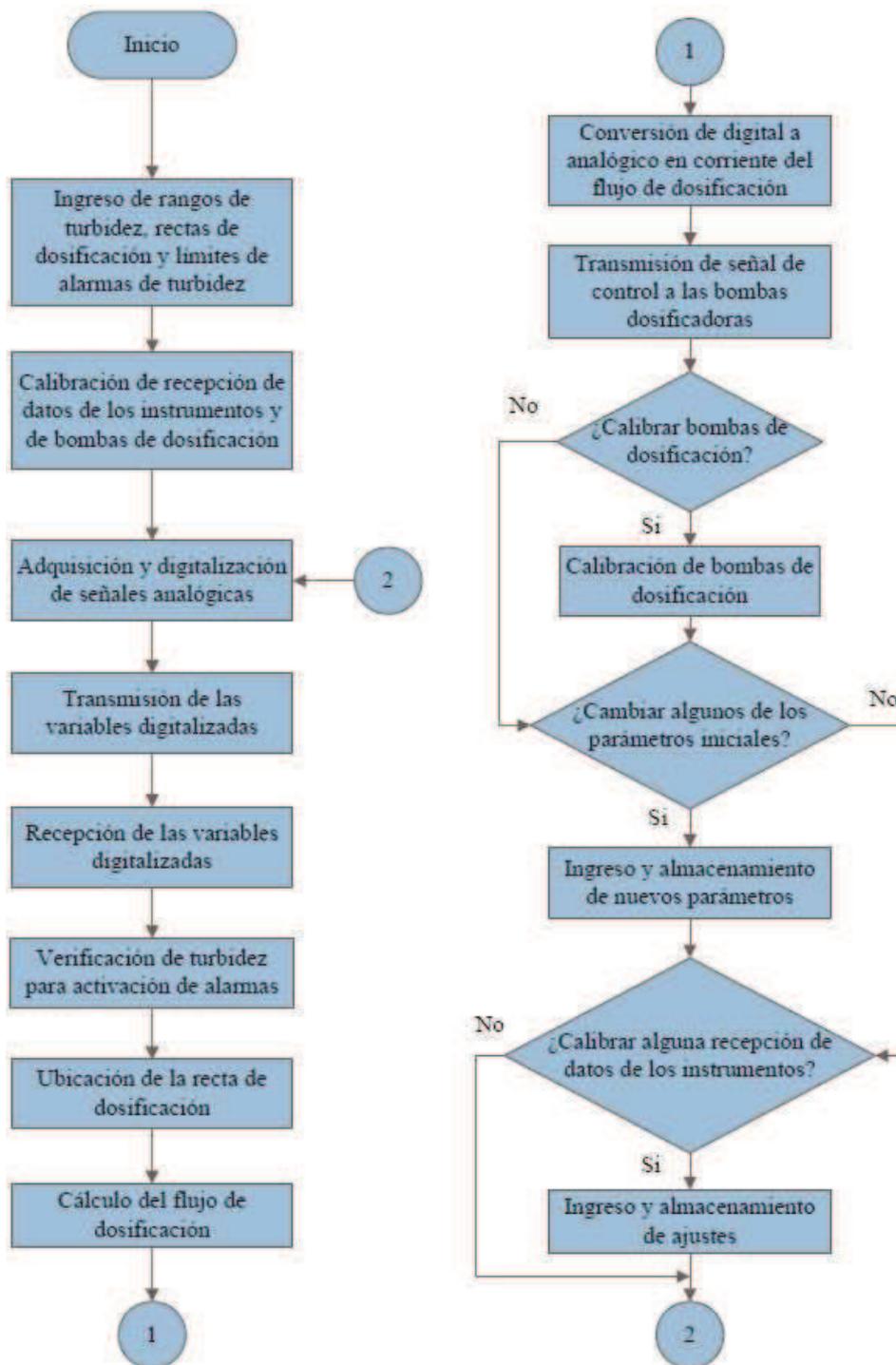


Figura 21. Lógica de control para la dosificación del químico coagulante y el floculante.

Cabe destacar que el proceso desde la Recepción de Variables Digitalizadas hasta la finalización del ciclo en el punto de conexión 2, se lleva a cabo tanto por el PLC de control de dosificación de coagulante como por el PLC de control de floculante; mientras que la adquisición de datos, digitalización y transmisión de los mismos es realizado por el PLC de adquisición.

La programación de los controladores se realizó mediante lenguaje escalera con bloques funcionales y una secuencia lógica recurrente. Para la programación de la lógica de control, comunicación entre dispositivos y diseño de las ventanas para la interacción del proceso mediante las pantallas táctiles HMI, se utilizó el software SIMATIC TIA *Totally Integrated Automation* PORTAL v. 10.5 de la marca Siemens, en la Figura 22 se puede observar el panel del ambiente de trabajo de dicho software. Las opciones y acciones del programa cambian dependiendo del diseño que se esté realizando, bien sea programación, ventanas o comunicación.

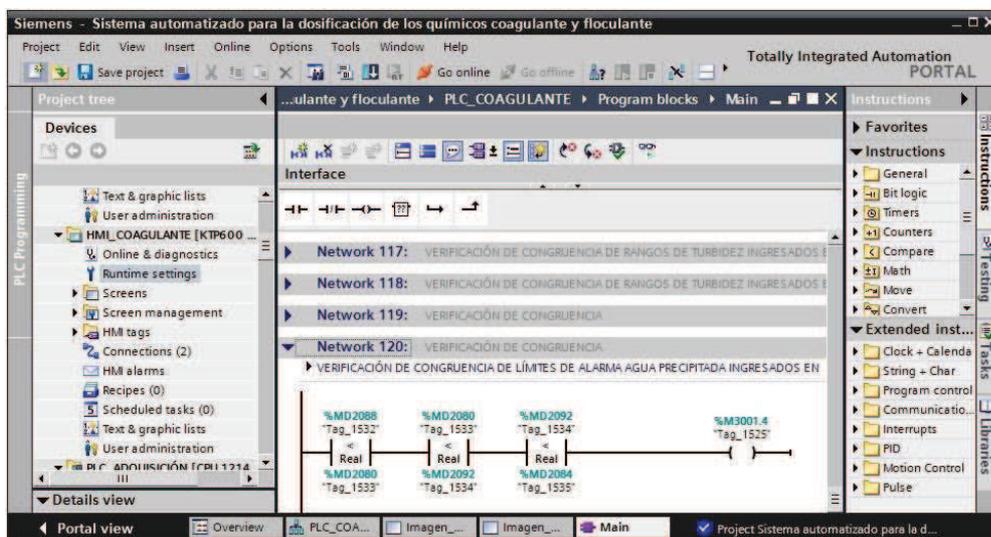


Figura 22. Vista del ambiente de trabajo de SIMATIC TIA PORTAL v. 10.5.

Dentro de los aspectos generales tomados en cuenta en la programación y en el diseño de las ventanas de interacción, se destacan los siguientes:

- Posibilidad de cambiar los valores de interés en cualquier momento, es decir, ningún valor o parámetro del sistema es fijo dentro de la programación.
- Confirmación para cada ajuste de control a ser realizado, esto con la finalidad de proteger el sistema de datos ingresados erróneamente.
- En caso de ingresar un valor incorrecto en la pantalla, se programó la acción de deshacer, la cual sustituye el valor erróneo en pantalla por el último valor correcto guardado en el PLC.
- Se asignaron dos niveles de seguridad con sesión asociada, uno que permite observar la dosis de químico que está siendo inyectada (Supervisor) y otro que permite realizar la acción anterior además de editar los parámetros de control (Operador).
- Cierre de sesión automática luego de transcurrir 5 minutos sin actividad sobre la pantalla para protección del sistema contra intruso.

A continuación, se exponen las etapas de la lógica de control y conexión de dispositivos para la automatización deseada, así como la interfaz diseñada para interactuar con cada una de ellas. Debido a las similitudes existentes en el proceso de dosificación de químicos, las ventanas mostradas y los procesos explicados son comunes para cada uno de los dos PLCs de dosificación.

5.1.1. Conversión D/A y A/D realizada por el controlador

Los instrumentos de medición de interés en el proceso de automatización poseen un indicador local donde se muestra la magnitud de la variable medida en tiempo real, además tienen la función de transmitir dicha magnitud al PLC de adquisición de datos mediante una señal analógica eléctrica en tensión o en corriente, esta señal se acopla al rango de medición del instrumento. Cada una de las señales transmitidas por los instrumentos son recibidas y guardadas en registros definidos internamente e identificados con etiquetas o *tags*. Una vez que el PLC recibe esta

señal, la convierte a un valor crudo entero el cual varía de 0 a 27.648. En la Figura 23 se muestra la recta utilizada por el controlador para esta conversión, en el eje X se encuentran los valores de entrada analógicos en corriente identificado por *HW-Input* o entrada de hardware, mientras que el eje Y contiene el valor crudo o *Software range* correspondiente para cada valor analógico. Esta recta permite la detección de falla rotura de cable cuando la señal analógica se encuentre por debajo de los 4 mA.

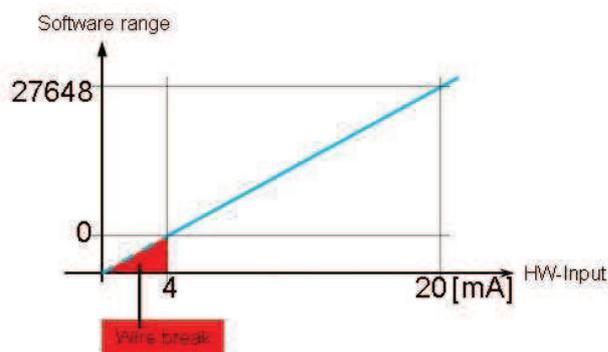


Figura 23. Recta de conversión analógica digital realizada por el PLC S7-1200.

En la Tabla 9 se muestra la equivalencia entre los rangos de medición de los instrumentos y el rango de valor crudo utilizado por el PLC.

Tabla 9. Equivalencia entre el rango de medición de las variables de interés y el rango de valor crudo asignado por el controlador.

Instrumento de medición	Rango de medición	Valor crudo
Turbidímetro de Agua Cruda	0 a 4.000 NTU	0 a 27.648
Turbidímetro de Agua Precipitada	0 a 100 NTU	0 a 27.648
Caudalímetro línea de Precipitadores 1, 2 y 3	0 a 6.000 GPM	0 a 27.648
Caudalímetro línea de Precipitador 4	0 a 2.500 GPM	0 a 27.648

Para el caso de los turbidímetros, el rango de medición puede ser cambiado desde el panel del instrumento, pero de igual forma se mantendría la equivalencia con el rango de valor crudo asignado por el controlador.

Debido a que las variables adquiridas por el PLC de adquisición de datos son enviadas a los PLCs de control de dosificación en valor crudo, se programaron rectas ajustables en los controladores de dosificación para realizar la conversión del valor crudo recibido al valor analógico correspondiente, de esta forma se puede observar en las pantallas táctiles ubicadas en cada tablero de control de dosificación las magnitudes de las variables medidas por los instrumentos.

Para la regulación automática del flujo de dosificación, el controlador convierte el valor crudo resultante del flujo de dosificación a una señal analógica en corriente, utilizando la recta de conversión mostrada en la Figura 24. Dicha recta es empleada por el PLC para realizar la conversión del resultado del cálculo de dosificación comprendido de 0 a 27.648 a valores analógicos en corriente con un rango de 4-20mA.

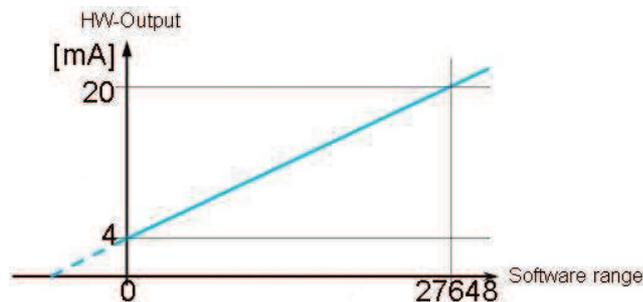


Figura 24. Recta de conversión digital analógica realizada por el PLC S7-1200.

5.1.2. Comunicación entre controladores y pantallas HMI

Para la comunicación de estos dispositivos de control se utilizó la red de campo industrial ProfiNet, la cual requiere que a cada controlador y pantalla HMI de la red le sea asignado un nombre y una dirección IP. Las conexiones entre estos dispositivos se definieron tal como se muestra en la Figura 25.

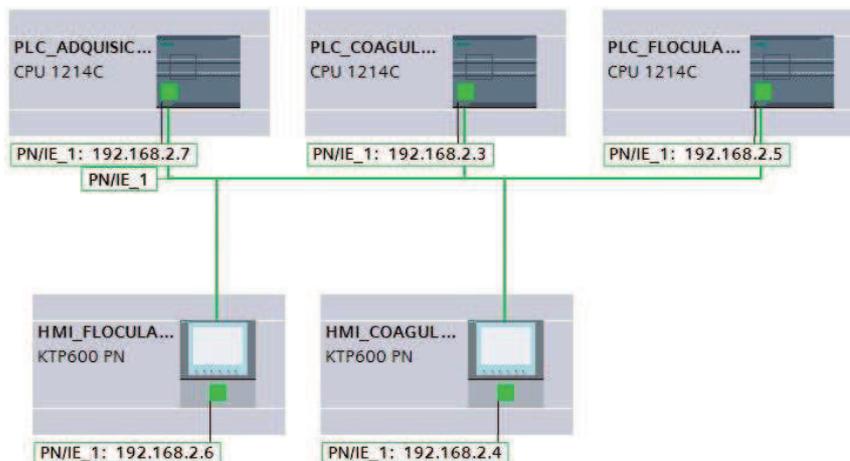


Figura 25. Diagrama de red de conexión de dispositivos mediante ProfiNet.

Este tipo de conexión permite mostrar en ambas pantallas la medición de turbidez y caudal realizada por los instrumentos del sistema, así como el ingreso de parámetros comunes desde cualquiera de las dos pantallas. En el Anexo 3, se expone la configuración para la comunicación entre los controladores del sistema, así como los bloques funcionales empleados en la programación para la transmisión y recepción de datos.

5.1.3. Interacción con el sistema automatizado y programación asociada

Para la interacción con el sistema de dosificación automática, se diseñaron una serie de ventanas que permiten al operador la visualización, ajustes y edición de parámetros de control. La pantalla inicial y principal en cada uno de los dos (2) tableros de dosificación, muestra un esquema del sistema de dosificación del reactivo correspondiente. Dicha ventana puede ser observada en la Figura 26.

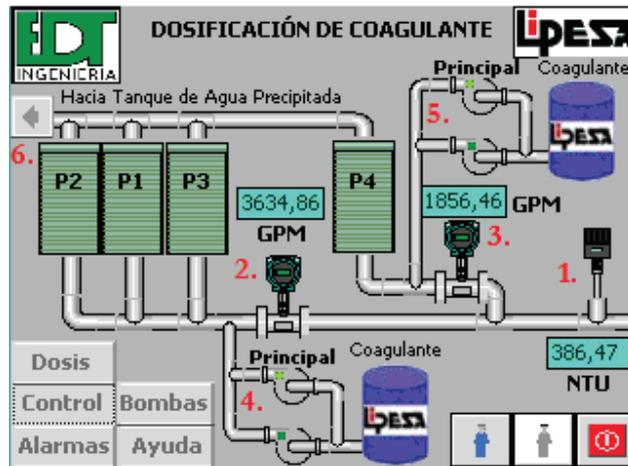


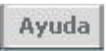
Figura 26. Ventana principal del proceso.

Los aspectos fundamentales que se muestran en esta pantalla son los siguientes:

1. Turbidez de agua cruda en [NTU].
2. Caudal de agua cruda hacia los precipitadores 1, 2 y 3 en [gpm].
3. Caudal de agua cruda hacia el precipitador 4 en [gpm].
4. Bomba principal y bomba auxiliar de dosificación del reactivo correspondiente hacia los precipitadores 1, 2 y 3.
5. Bomba principal y bomba auxiliar de dosificación del reactivo correspondiente hacia el precipitador 4.
6. Vínculo para mostrar ventana de agua precipitada.

Para identificar en la ventana principal las bombas de dosificación que están en funcionamiento, se programó el encendido de una luz piloto colocada sobre el símbolo de cada bomba, además de una indicación de funcionamiento mediante la visibilidad en pantalla del nombre que identifica a la bomba energizada, bien sea principal o auxiliar. Lo anterior se realiza de forma simultánea al encendido de la luz piloto correspondiente a cada bomba en la parte externa del tablero. Adicionalmente,

en la ventana principal se encuentran diversos botones de operación que se describen a continuación:

-  **Dosis** Vínculo para observar la dosis que se está inyectando a las líneas de proceso. Contraseña solicitada.
-  **Control** Vínculo para ingresar a la sección de control del proceso o Menú Principal. Contraseña solicitada.
-  **Bombas** Vínculo para panel de selección de bomba de dosificación.
-  **Alarmas** Vínculo para ingresar al panel de alarmas.
-  **Ayuda** Vínculo de ayuda principal.
-  Vínculo para iniciar sesión. Requiere contraseña.
-  Vínculo para cerrar sesión.

Para mostrar la turbidez de agua precipitada, se diseñó una ventana llamada “Tanque de Agua Precipitada”. En ésta se presenta un esquema simbólico donde se muestra el turbidímetro encargado de la medición y el tanque de agua precipitada de la planta. Dicha ventana puede ser observada en la Figura 27.

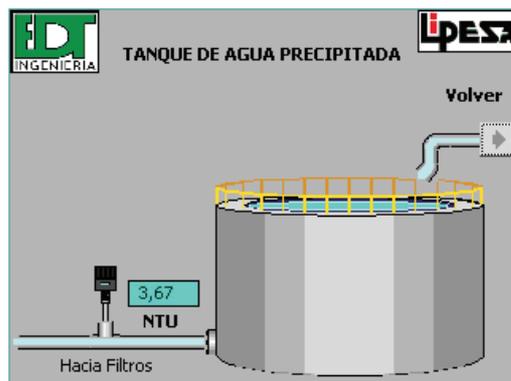


Figura 27. Ventana de Tanque de Agua Precipitada.

Para cada uno de los cuatro instrumentos de medición, se diseñó una ventana donde se muestran las variaciones de las mediciones hechas en un periodo de 24 horas. En la Figura 28, se muestra la ventana comentada.



Figura 28. Ventana de gráfica de magnitud de variables.

Para el ingreso o cambios en los parámetros de control se ha diseñado un menú de operación, mostrado en la Figura 29, donde se presentan cuatro (4) opciones para realizar diversas acciones sobre el sistema automatizado.



Figura 29. Ventana de Control o Menú Principal.

5.1.4. Carga de rangos de turbidez

Se diseñó una ventana donde el operador puede ingresar los diez (10) rangos de turbidez deseados y a la cual se tiene acceso desde cualquiera de las dos primeras opciones del menú principal. En la Figura 30, se observa que esta ventana está compuesta por una tabla que contiene diez (10) tramos de turbidez debidamente identificados para una dosificación en específico.



Figura 30. Ventana de ingreso de rangos de turbidez.

Para garantizar la continuidad en los tramos de turbidez ingresados, se programó en los PLCs de dosificación, la igualación automática del límite superior de un tramo de turbidez con el límite inferior del siguiente tramo. Un esquema del funcionamiento de esta lógica se muestra en la Tabla 10. En ésta se puede observar que una vez ingresado el límite superior del primer tramo, el límite inferior del segundo tramo automáticamente toma este valor.

Tabla 10. Lógica para garantizar continuidad de tramos de turbidez ingresados.

L.I.T.1	L.I.T.2 = L.S.T.1	L.I.T.3 = L.S.T.2	L.I.T.10 = L.S.T.9
L.S.T.1	L.S.T.2	L.S.T.3	L.S.T.10

Siendo L.I.T.#: Límite Inferior del Tramo # y L.S.T.#: Límite Superior del Tramo #.

Además, se programó en los controladores un método de verificación de congruencia, el cual comprueba que en todos los rangos de turbidez ingresados el límite inferior sea menor al límite superior, como se muestra en la Tabla 11.

Tabla 11. Lógica para verificación de congruencia rangos de turbidez.

L.I.T.1	L.I.T.2 = L.S.T.1	L.I.T.3 = L.S.T.2	L.I.T.10 = L.S.T.9
<	<	<		<
L.S.T.1	L.S.T.2	L.S.T.3	L.S.T.10

Una vez que el controlador verifica la congruencia de los valores ingresados, en la ventana de ingreso de rangos de turbidez se enciende la luz piloto que indica que los datos introducidos son válidos, al mismo tiempo aparece el botón aceptar identificado por un símbolo de visto bueno, justo al lado del botón deshacer. Esto se puede observar en la Figura 31.



Figura 31. Ventana de ingreso de rangos de turbidez con datos válidos.

Al presionar el botón aceptar se muestra la ventana de confirmación de ingreso de datos. Ésta puede observarse en la Figura 32. Luego de ser confirmados los ajustes realizados, se graban los rangos de turbidez definidos por el operador en el PLC.

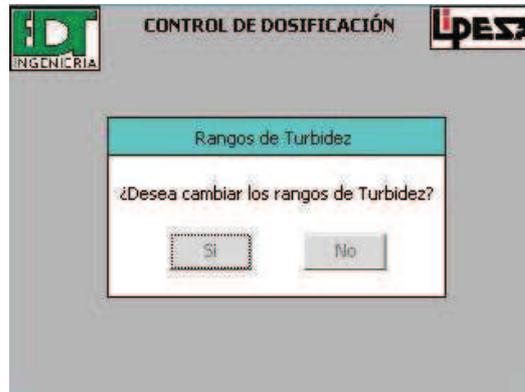


Figura 32. Ventana de confirmación de cambios a realizar.

5.1.5. Carga de rectas de dosificación

Para realizar estos ajustes, se diseñó una ventana donde el operador puede editar los parámetros de las rectas de dosificación contempladas en la premisa de control. Se accede a esta ventana al presionar el botón “Ajustar Curvas” ubicado en la parte inferior derecha de la ventana de ingresos de rangos de turbidez mostrada en la Figura 31.

En el diseño de la interfaz de la ventana para el ingreso de las rectas de dosificación, se presenta una recta genérica que puede ser observada en la Figura 33, a la cual el operador puede ingresar los puntos de interés tanto del flujo de dosificación como del caudal de agua cruda. En la parte derecha de la ventana se encuentran las casillas para ingresar los dos factores de ajuste de recta “ k ” y “ $b0$ ”, mientras que en la parte superior de la ventana se muestra en color azul el tramo de turbidez correspondiente a la recta que se está editando. Adicionalmente, en la parte superior de la ventana se muestra la dosis del químico en tiempo real mientras se realizan los ajustes sobre la recta.

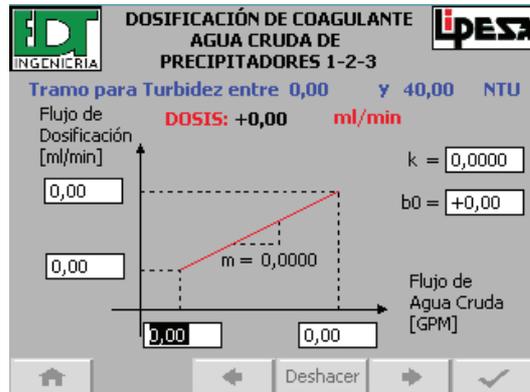


Figura 33. Ventana para el ingreso y ajustes de la recta de dosificación correspondiente a un tramo de turbidez de 0 a 40 NTU.

Debido a la posibilidad de ingresar un valor de factor de ajuste de *offset* “ b_0 ”, tal que el flujo de dosificación calculado sea cero o negativo, se programó una advertencia visual en la parte superior de la ventana, de tal forma que la dosis mostrada en la pantalla comience a titilar y el texto que lo acompaña cambie a color rojo.

Con estas consideraciones y el diseño de esta interfaz, el operador puede ingresar los valores correspondientes a la recta en cada casilla. Luego de aceptar y confirmar los cambios, en la parte baja de la recta se muestra la pendiente con los valores ingresados, de esta forma los operadores pueden comparar la pendiente calculada por el controlador con la correspondiente a la recta de dosificación calculada por ellos.

Para esta etapa de ingreso y/o edición de las rectas de turbidez, se diseñaron para la pantalla de cada tablero diez (10) ventanas para la dosificación de químico hacia los precipitadores 1, 2 y 3 y diez (10) ventanas para la dosificación de químico hacia el precipitador 4. La interacción entre cada una de las rectas se puede realizar con las flechas de desplazamiento ubicadas en la parte baja de cada ventana.

5.1.6. Alarmas. Carga de rango de alarmas

En el diseño de la lógica de control se contempló la posibilidad de poder activar alarmas cuando valores de turbidez de agua cruda y/o de agua precipitada se encuentren fuera de los rangos definidos por el usuario final. Debido a que la turbidez se encuentra en constante cambio, se estableció que para cada nivel de turbidez definido se le asociaran dos niveles de turbidez, uno para el encendido de la alarma y otro para el apagado automático. De esta forma se crea un rango de histéresis que desactiva la alarma si la turbidez regresa a valores normales.

En la Figura 34, se puede observar el esquema de funcionamiento de activación y desactivación automática para la turbidez de agua cruda, y por su parte en la Figura 35, se muestra el esquema de funcionamiento de activación y desactivación automática para la turbidez de agua precipitada.

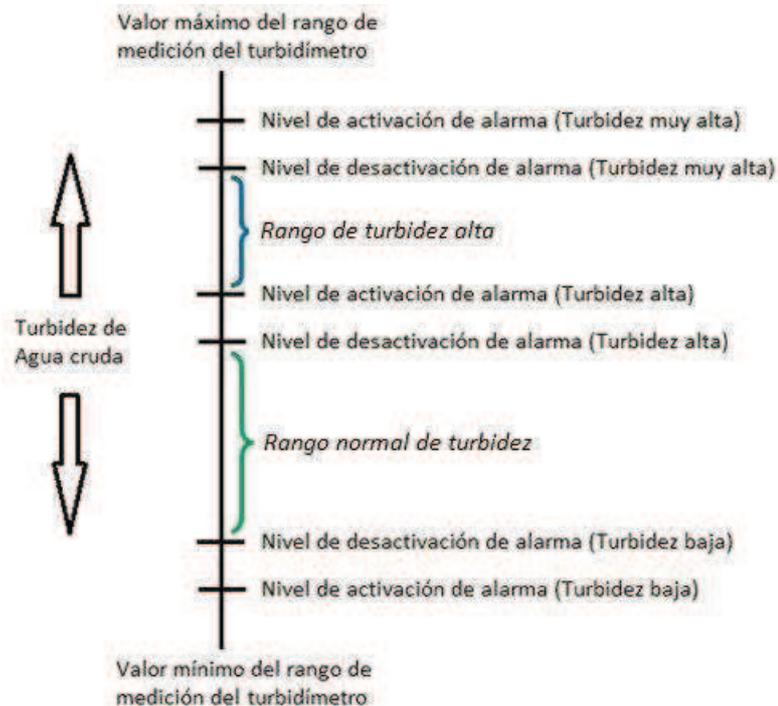


Figura 34. Esquema de alarmas para turbidez de agua cruda.

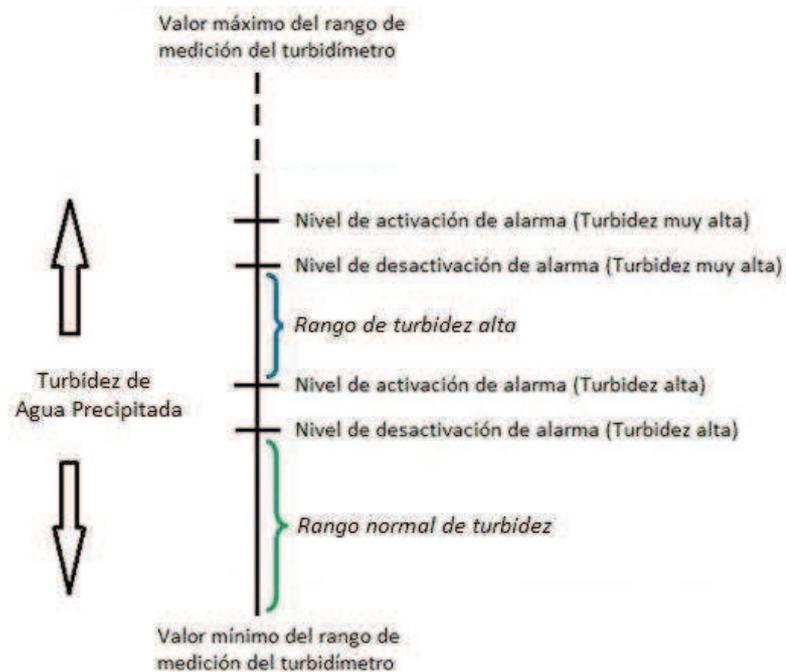


Figura 35. Esquema de alarmas para turbidez de agua precipitada.

Además de la activación y desactivación automática de las alarmas, se asignó un bit en el programa para que el operador pueda reconocer las mismas y así revisar qué circunstancias en el proceso las provocaron. Para la programación de esta lógica de funcionamiento, se diseñaron dos (2) diagramas GRAFCET acordes a los esquemas anteriormente mostrados, uno para detectar valores de turbidez de agua cruda fuera de rango y otro para detectar valores de turbidez de agua precipitada fuera de rango. Ambos diagramas se encuentran en el Anexo 4.

Para la interacción con esta parte del programa se diseñaron dos ventanas donde se ingresan los valores de los rangos de turbidez de activación y desactivación de las alarmas y a la cual se accede desde el menú principal. En la Figura 36 (a), se observa la ventana para ingreso de valores de turbidez de agua cruda y en la Figura 36 (b) se muestra la ventana para ingreso de límites de turbidez de agua precipitada.

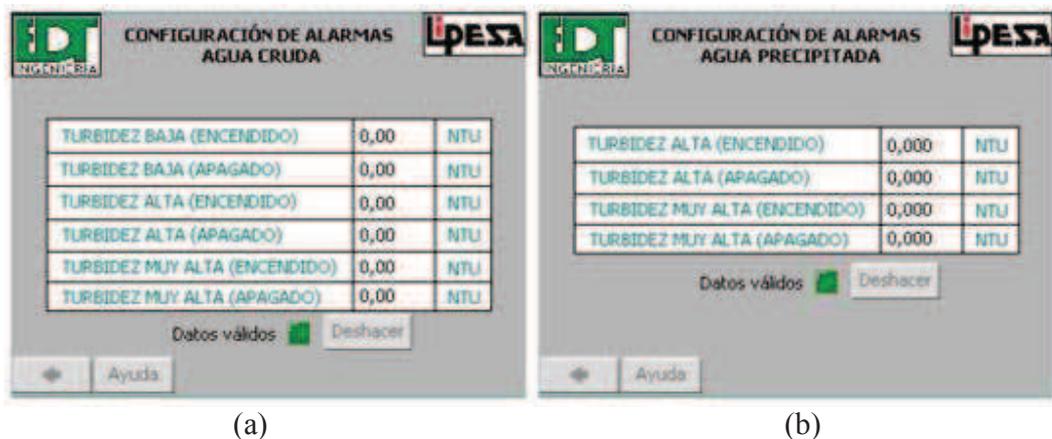


Figura 36. Ventana para definir límites de activación y desactivación de alarmas. (a) Panel para ingreso de límites de alarmas de agua cruda. (b) Panel para ingreso de límites de alarmas de agua precipitada.

De forma similar al ingreso de rangos de turbidez para las rectas de dosificación, se programó la verificación de congruencia de los valores ingresados por los operadores, de tal forma que cumplan con las siguientes condiciones:

- Congruencia para alarmas de turbidez de agua cruda

$$PONB1 < PONB2 < PONA2 < PONA1 < POMA2 < POMA1$$

PONB1: Punto de operación nivel bajo (Activación).

PONB2: Punto de operación nivel bajo (Desactivación)

PONA1: Punto de operación nivel alto (Activación)

PONA2: Punto de operación nivel alto (Desactivación)

POMA1: Punto de operación nivel muy alto (Activación)

POMA2: Punto de operación nivel muy alto (Desactivación)

- Congruencia para alarmas de turbidez de agua precipitada

$$PONA1 < PONA2 < POMA2 < POMA1$$

PONA1: Punto de operación nivel alto (Activación)

PONA2: Punto de operación nivel alto (Desactivación)

POMA1: Punto de operación nivel muy alto (Activación)

POMA2: Punto de operación nivel muy alto (Desactivación)

Una vez verificada la congruencia de los datos ingresados, se enciende la luz piloto de datos válidos y aparece el botón aceptar. Esto se puede observar en la Figura 37 (a), donde se muestra la ventana de ingresos de límites de turbidez de agua cruda con datos válidos, y en la Figura 37 (b) se muestra la ventana de ingresos de límites de turbidez de agua precipitada con datos válidos. En ambos casos al presionar el botón aceptar se pregunta si desea realizar los cambios.

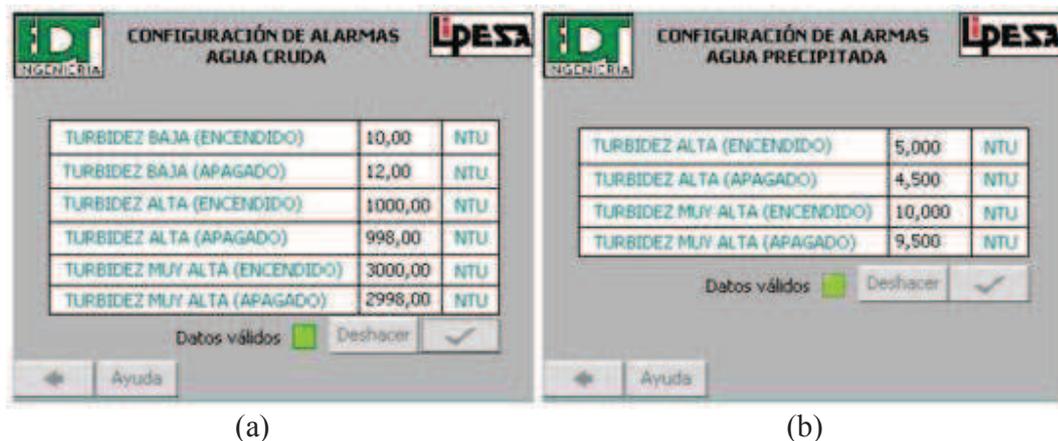


Figura 37. Validación de niveles de turbidez ingresados. (a) Límites válidos de alarma de agua cruda. (b) Límites válidos de alarmas de agua precipitada.

Al momento de registrarse un valor de turbidez fuera de rango, se muestra en las pantallas de los tableros de control de dosificación, una ventana de alarmas que contiene los valores de turbidez de activación ingresados. Al mismo tiempo, se enciende la luz piloto roja y la indicación sonora ubicadas en la parte externa de cada tablero. En la Figura 38, se muestra el panel de alarmas diseñado, donde se puede visualizar el botón de reconocimiento de alarmas ubicado en la parte baja de dicha ventana.



Figura 38. Panel de alarmas.

5.1.7. Calibración de acople de las señales mostradas en las pantallas táctiles

Debido al ruido y a la caída de tensión en los cables de transmisión de los instrumentos hasta el tablero de adquisición de datos, se puede generar una discrepancia entre la variable medida mostrada en el panel del instrumento y el valor mostrado en la pantalla de cada uno de los tableros de control de dosificación. Para compensar este efecto, se programó una calibración de acople de datos, con la cual se puede modificar las rectas de conversión D/A programadas en los controladores de dosificación para mostrar la magnitud de las variables medidas por los instrumentos en las pantallas. A continuación se muestra la ecuación genérica de dichas rectas.

$$\text{Valor Crudo} = m' * (\text{Variable medida en corriente} - X1) + Y1 + b0$$

Por otra parte, dado a que las bombas de dosificación acumulan sedimentos con el transcurrir del tiempo, se programó una recta de ajuste de calibración para la señal de control enviada a las bombas dosificadoras, cuya expresión es mostrada a continuación:

$$\text{Señal de control} = m' * (\text{Valor crudo del flujo calculado} - X1) + Y1 + b0$$

Estos ajustes pueden ser realizados presionando el símbolo que identifica a cada uno de los instrumentos de medición, así como las bombas de dosificación en la ventana principal de proceso.

5.1.8. Conmutación de las bombas de dosificación

Esta etapa del programa fue programada para interactuar con los dos pulsadores ubicados en la parte externa de cada tablero de dosificación y efectuar las siguientes acciones:

- Realizar la conmutación de la bomba de dosificación principal a la bomba de dosificación auxiliar y viceversa, para el caso de dosificación a los precipitadores 1, 2 y 3 así como para la dosificación al precipitador 4. Para esto se debe pulsar una (1) sola vez el pulsador que se encuentra en la parte externa del tablero en un período de tiempo menor a 2 segundos.
- Activar la bomba de dosificación principal y la bomba de dosificación auxiliar de forma paralela. Para esto se debe presionar el botón dos (2) veces en un período de tiempo de 2 segundos.
- Apagar las bombas de dosificación principal y auxiliar. Esto se logra al mantener presionado el pulsador por un período de tiempo de 2 segundos.

Adicionalmente, se diseñó una ventana que permite realizar estas acciones de una forma más directa. Dicha ventana se muestra en la Figura 39, en ésta se puede observar cuatro (4) botones con luces piloto asociadas correspondientes a cada una de las bombas de dosificación. Cada uno de estos botones están colocados e identificados de la misma forma en la que se encuentran colocadas las luces piloto correspondientes a las bombas de dosificación en la parte externa del tablero. A esta

ventana se puede acceder presionando el ícono “Bombas” ubicado en la ventana principal.



Figura 39. Ventana de selección de bombas de dosificación.

Para guardar los datos ingresados en cada una de las etapas explicadas y no tener pérdida de ellos en caso de una falla de alimentación eléctrica, se utilizaron parte de los 2.048 registros de tipo byte retentivos que posee el PLC Siemens S7-1200. Los procesos de interacción expuestos anteriormente están explicados en el documento de funcionamiento del sistema de dosificación automática entregado al usuario final. En dicho documento se especifican las acciones a ser realizadas en las ventanas diseñadas así como una explicación al detalle de cada una de ellas.

Una vez definida la lógica de control, comunicación entre dispositivos y diseñadas las ventanas de interacción, se procedió a implementar el sistema.

5.2. IMPLEMENTACIÓN Y CANALIZACIÓN DEL SISTEMA DE DOSIFICACIÓN AUTOMÁTICA

En la presente sección se expone la implementación de los instrumentos y dispositivos de control, así como el diseño de la canalización del sistema de

dosificación automática de coagulante y floculante implementado en la PTAB Planta Río Neverí.

5.2.1. Implementación de los elementos del sistema automatizado

Basado en un levantamiento de dimensionamiento de la planta realizado por la empresa EDT Ingeniería C.A. se llevó a cabo la ubicación de los elementos de control e instrumentos contemplados en el sistema automático. En la Figura 40 se observa un esquema de la vista superior de la planta donde se muestran las distancias entre los elementos de interés.

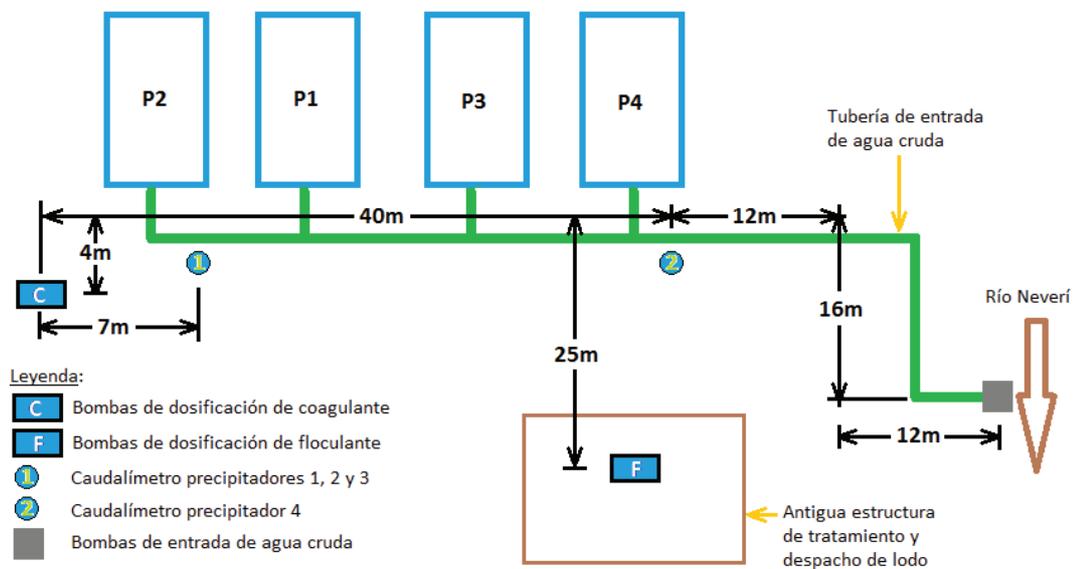


Figura 40. Esquema de vista superior de la planta sin elementos del sistema de dosificación automática.

El tablero de adquisición de señales analógicas está ubicado en una estructura metálica entre el precipitador 1 y el precipitador 3. La selección de este lugar fue realizada debido a que se corresponde a un punto medio entre las bombas de dosificación de coagulante y las bombas de dosificación de floculante, además de ser un punto central entre los caudalímetros. Dada la cercanía de ésta ubicación a una

línea de proceso saliente del tanque de agua precipitada, se ubicó el turbidímetro de agua precipitada a la izquierda del tablero de adquisición, tal como se observa en la Figura 41.



Figura 41. Tablero de adquisición de datos y turbidímetro de agua precipitada instalados.

El tablero de control de dosificación de coagulante se fijó a la izquierda de un tablero existente en la zona donde se encuentran las bombas de dosificación de coagulante. En la Figura 42 (a), se observa la ubicación del tablero de control de coagulante y en la Figura 42 (b) se muestra el tablero instalado.

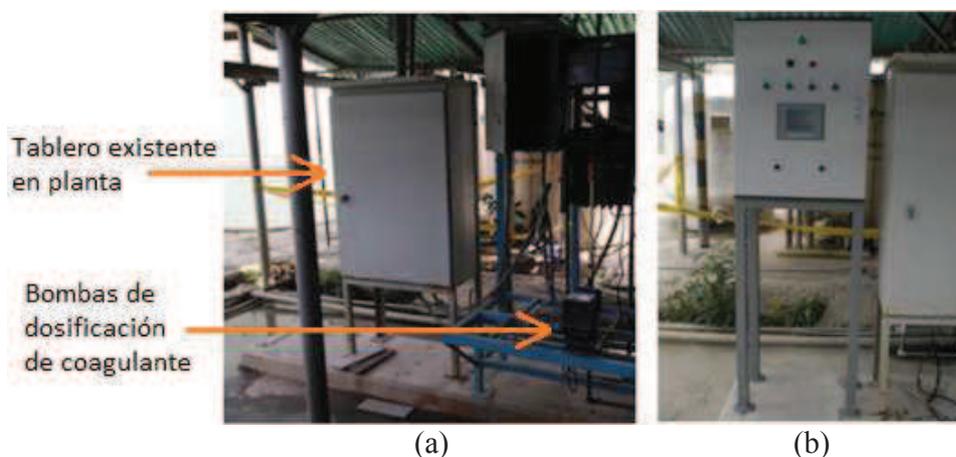


Figura 42. Tablero de control de coagulante instalado en la planta. (a) Ubicación del tablero. (b) Tablero de dosificación de coagulante.

El tablero de control de dosificación de floculante se instaló cerca de las bombas de dosificación de este químico. En la Figura 43 se observa la ubicación seleccionada y el tablero de control de floculante instalado en la planta.

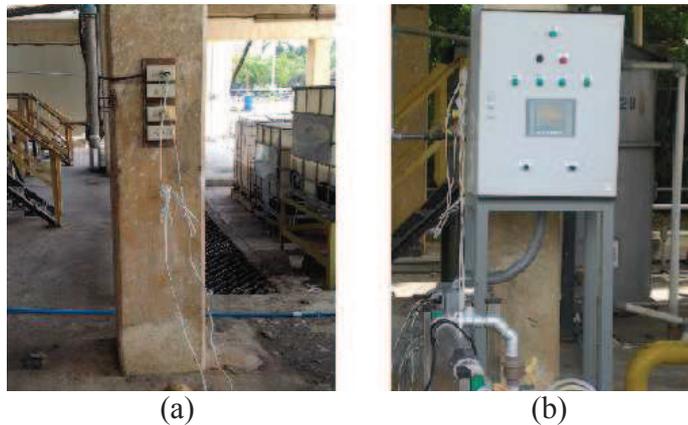


Figura 43. Tablero de control de floculante instalado en la planta. (a) Ubicación del tablero. (b) Tablero de dosificación de floculante.

El sensor del turbidímetro de agua cruda se instaló en una toma directa sobre la línea de entrada de agua cruda a la planta. En la Figura 44 se muestra dicho sensor y una tubería de PVC de 1 ½” con un reductor de presión, el cual cumple la función de limitar posibles picos de presión por encima de 85 psi durante el arranque y parada de las bombas de succión de agua del río. La tubería PVC instalada tiene la finalidad de llevar el agua tomada de la línea principal de nuevo al río. Asimismo, en la Figura 45 se observa el panel de este turbidímetro, el cual ha sido instalado en la parte posterior de la estructura metálica donde se encuentran los interruptores de las bombas de entrada de agua cruda.

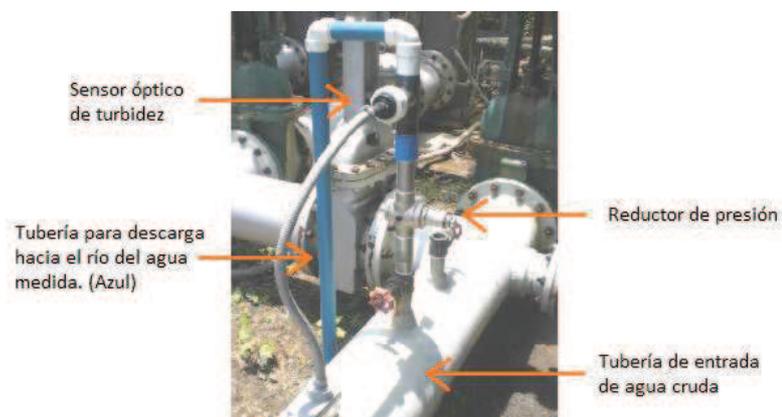


Figura 44. Sensor de turbidez de agua cruda fijado en planta.



Figura 45. Panel de turbidímetro de agua cruda fijado en planta.

Un esquema de vista superior de la ubicación de los elementos del sistema automatizado se puede observar en la Figura 46. En éste se encuentran los tableros de control, así como los instrumentos de interés del sistema.

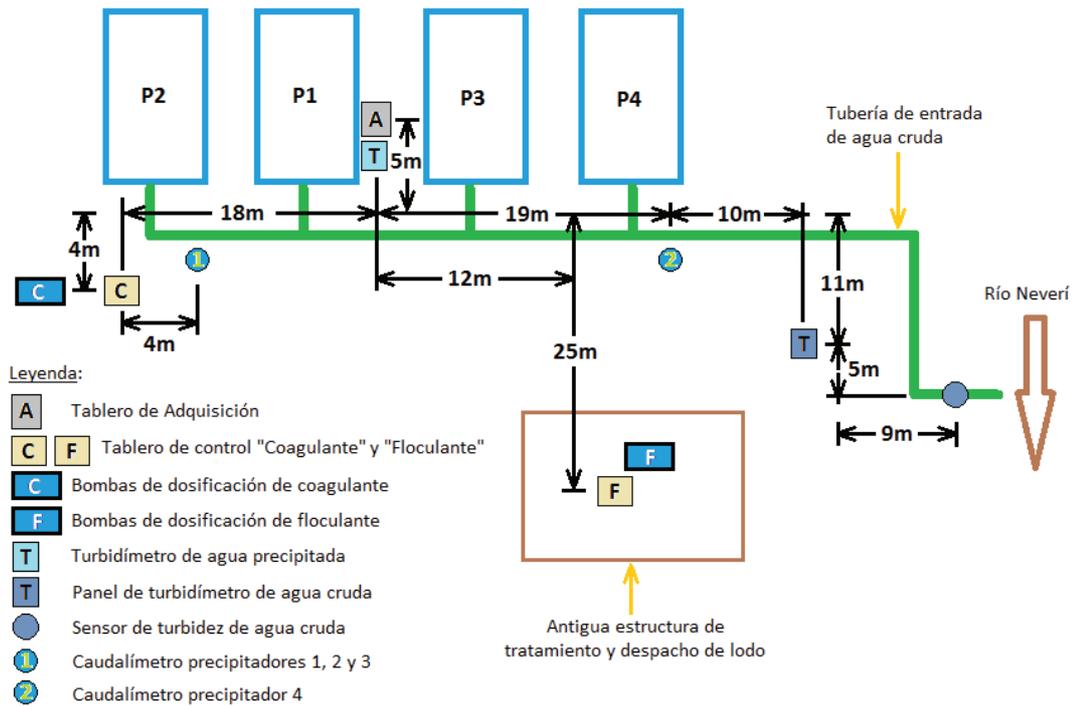


Figura 46. Esquema de vista superior de ubicación de equipos e instrumentos del sistema implementado.

Una vez ubicados los elementos de control, se procedió al diseño de la canalización y posterior implementación.

5.2.2. Canalizaciones. Diseño e implementación

El diseño de las canalizaciones se realizó en base al tipo de señales a transmitir, las dimensiones de la planta y la ubicación de los elementos de control. Cabe destacar que en el Anexo 5 se encuentra el diagrama correspondiente a las instalaciones de las canalizaciones del sistema. En la

Tabla 12 se muestran las señales manejadas en el sistema así como la cantidad de conductores que empleados.

Tabla 12. Señales manejadas en la automatización.

Tipo de señal	Número de conductores
Señal analógica en corriente 4-20mA	Dos (2): Señal y neutro
Alimentación eléctrica 120 V	Tres (3): Línea, neutro y tierra
Comunicación digital 100 Mbits/s	Uno (1): Ethernet requerido por ProfiNet

Los conductores seleccionados para la conexión de los dispositivos eléctricos del sistema, son de calibre AWG 14, cumpliendo con lo establecido en la tabla 310.16 “Ampacidades admisibles de los Conductores Aislados para tensiones nominales de 0 a 2000 Voltios y 60°C a 90°” del Código Eléctrico Nacional:2009. Para la transmisión de señales analógicas en corriente, es criterio y política de la empresa EDT Ingeniería el uso de conductores AWG 14, aún pudiendo ser utilizado un conductor de menor calibre AWG 18, según los cálculos del peor caso para capacidad de corriente y caída de tensión presentados en el Anexo 6. Para la comunicación digital entre los dispositivos de control se utilizó cable UTP categoría 5E, el cual según la norma ANSI-TIA 568B, permite un tramo máximo de cableado entre dispositivos de hasta 100 m. Por otra parte, la identificación y selección del color de los conductores empleados en la instalación cumplen con lo establecido en la norma IEC 60446. En la Tabla 13 se mencionan los colores de conductores utilizados dependiendo de la finalidad del conductor.

Tabla 13. Colores de conductores utilizados.

Color	Finalidad
Negro	Conductor utilizado para la transmisión de señal o línea.
Blanco	Conductor utilizado para neutro.
Verde	Conductor utilizado para tierra.

El cableado fue canalizado a través de tubería metálica liviana IMC de ½”, 1” y 1½”, en algunos casos se utilizó tubería no metálica hermética flexible LFMC *Liquid Tight* de ½” y de 1½”. Se seleccionaron estos diámetros en base a la cantidad de conductores a canalizar establecidos en la Tabla C7 (Continuación 3): Número máximo de Conductores o Cables de Aparatos en Tubos Metálicos Flexibles y Herméticos a los Líquidos del Tipo LFML del Código Eléctrico Nacional:2009. De igual forma se utilizó espiral protector de conductores y cajas de paso donde era necesario según el punto 314.22 de extensión de superficies externas del Código Eléctrico Nacional:2009.

En general, según el requerimiento de la canalización fueron empleadas conuletas herméticas. Para la canalización de la conexión de cada uno de los tableros de control con las respectivas bombas de dosificación, se implementaron dos cajas de conexión de 12x12x4 pulgadas. En la Figura 47 se observa que a cada una de estas cajas se les instaló cuatro (4) tomacorrientes con protección contra el ingreso de agua para la alimentación de cada una de las bombas, así como cuatro (4) puertos para la conexión de señales de control 4-20 mA. Dichas cajas de conexión se ubicaron cerca de las bombas de dosificación de cada químico.



Figura 47. Cajas de conexión de las bombas de dosificación a los tableros de control.

La alimentación eléctrica del tablero de control de coagulante, el tablero de adquisición y de los turbidímetros, se tomó del tablero existente en la planta que se encuentra al lado del tablero coagulante. Por su parte, la alimentación eléctrica del tablero de control de floculante se tomó de un tablero existente ubicado en la antigua estructura de tratamiento y despacho de lodo. Ambas tomas cuentan con tensión nominal de 120 Voltios, neutro y tierra, estas conexiones se realizaron con la previa indicación y autorización de los técnicos de PDVSA. Para parte del cableado del sistema, los técnicos indicaron un tramo de tubería metálica pesada de 1½” existente en la planta que no estaba siendo utilizada y solicitaron incluirla en la canalización a ser implementada. Dicha tubería se encuentra indicada en el Anexo 5.

Una vez instalados y canalizados todos los elementos, se procedió a energizar el sistema. En la Figura 48 (a), puede visualizarse el tablero de control de dosificación de floculante energizado y conectado a las bombas de dosificación. Por su parte en la Figura 48 (b), se muestra el tablero de control de dosificación de coagulante energizado y conectado a las bombas de dosificación correspondiente.



Figura 48. Tableros de dosificación energizados. (a) Tablero de dosificación de floculante energizado. (b) Tablero de dosificación de coagulante energizado.

De igual forma en la Figura 49 (a), se puede observar el panel del turbidímetro de agua precipitada y en la Figura 49 (b) se muestra el panel del turbidímetro de agua cruda, ambos energizados.



Figura 49. Paneles de turbidímetros energizados. (a) Panel del turbidímetro de agua precipitada. (b) Panel del turbidímetro de agua cruda.

Luego de energizado el sistema, se procedió a calibrar los sensores de turbidez con el uso de los kits de calibración que posee cada instrumento. Para el turbidímetro de agua cruda, se utilizó una solución de turbidez de 400 NTU para calibrar el sensor de turbidez siguiendo las instrucciones del manual del instrumento, seguidamente se seleccionó el rango de medición contemplado de 0 a 4.000 NTU. Por otra parte, para el turbidímetro de agua precipitada, se utilizaron las muestras de 0,02, 10 y 100 NTU incluidos con el instrumento y se realizó la calibración siguiendo las instrucciones del manual del sensor, el rango de medición seleccionado es de 0 a 40 NTU.

5.3. VALIDACIÓN DEL SISTEMA IMPLEMENTADO

En ésta sección se exponen, las acciones y pruebas realizadas para la validación del sistema de dosificación automática implementado.

5.3.1. Verificación de adquisición de datos

a) Caudalímetros

Esta prueba se llevó a cabo para verificar que no existieran errores en la adquisición de datos de los caudalímetros, debido a que la transmisión de señal de estos instrumentos a la caseta de control de la planta es mediante protocolo HART. Con la finalidad de no afectar el lazo de corriente existente entre los caudalímetros y la caseta de control, la adquisición de datos de estos instrumentos se realizó mediante señal en tensión 0-10 V. La verificación de la correcta adquisición de datos se efectuó mediante pruebas de conexión y desconexión de las señales enviadas por los caudalímetros al controlador de adquisición implementado y entretanto, se verificó que la señal analógica en corriente 4-20 mA que comunica a los caudalímetros con la central de control no sufriera interferencias ni tuviese presencia de ruido. Luego de verificado el correcto funcionamiento de la adquisición en señal analógica en tensión por parte de los dos (2) caudalímetros, se procedió a verificar la adquisición de señal analógica en corriente proveniente de los turbidímetros implementados.

b) Turbidímetros

La siguiente verificación correspondió a la comprobación de la correcta adquisición de señal analógica en corriente enviada por los turbidímetros implementados. Se realizaron pruebas de calidad de señal con un amperímetro desde los terminales de salida del panel de cada turbidímetro implementado hasta el módulo

de adquisición de señales analógicas, verificando que no existiera presencia de ruido significativo en la magnitud de la señal analógica adquirida.

De igual forma, la verificación de las señales analógicas adquiridas de los caudalímetros y los turbidímetros se realizó desde las pantallas de los tableros de control de dosificación, donde se observó que existía concordancia entre la medición reflejada en el panel de cada instrumento y el valor mostrado en las pantallas de los tableros.

Luego de instalado y conectado el sistema, se procedió a ejecutar pruebas de interacción y de funcionamiento del mismo, en presencia de los operadores encargados del sistema de dosificación. A continuación, se exponen las pruebas realizadas.

5.3.2. Verificación de la interacción e introducción de datos

a) Seguridad de acceso

Los operadores de la planta, ingresaron el nombre y contraseña del primer nivel de seguridad asignado al programa (Supervisor) y verificaron con los datos ingresados, que sólo se podía tener acceso a la ventana donde se muestra la dosis de químico que se está inyectando. Seguidamente, ingresaron los datos del segundo nivel de seguridad (Operador), comprobando el acceso a todas las configuraciones programadas para el sistema, incluyendo la visualización de la dosis de químico inyectado. De igual forma se corroboró que luego de transcurridos los cinco (5) minutos de inactividad sobre las pantallas del sistema, se realizaba automáticamente el cierre de sesión.

b) Lógica de control correspondiente a la congruencia de datos ingresados

Para esta verificación, en las ventanas de ingreso de rangos de turbidez para la dosificación de químicos y en las ventanas de ingreso de niveles de turbidez para la activación y desactivación de alarmas, se ingresaron valores con magnitudes y orden que no cumplieran con la lógica programada. Se pudo observar que la luz piloto de indicación de datos válidos en cada ventana no se activaba y tampoco se mostraba el botón de aceptar para grabar los valores en los controladores, de esta forma se validó la protección programada.

c) Ajustes de las rectas de dosificación

Para esta validación se cargaron en el tablero de control de dosificación de coagulante las diez (10) rectas de dosificación hacia los precipitadores 1, 2 y 3, así como las diez (10) rectas de dosificación hacia el precipitador 4. De igual forma, se cargaron las veinte (20) rectas correspondientes en el tablero de control de dosificación de floculante. Luego del ingreso de cada recta de dosificación, se comparó la pendiente calculada por cada controlador, contra la pendiente de la recta correspondiente calculada por los operadores de la planta. De esta forma, se validó la programación para la carga y el cálculo de las rectas de dosificación suministradas por los operadores.

d) Interacción para el funcionamiento de las bombas

Esta prueba consistió en probar la lógica programada para la conmutación, encendido paralelo y apagado de las bombas de dosificación. Se realizaron estas acciones mediante el uso de cada uno de los dos pulsadores ubicados en los tableros de control de dosificación, verificando el correcto funcionamiento de los mismos a través de la observación en la indicación de encendido de las bombas de dosificación, la ventana principal de las pantallas de los tableros y las luces piloto ubicadas en la parte externa de éstos.

Seguidamente, se ejecutó el encendido y apagado de cada bomba de dosificación mediante la ventana de panel de bombas diseñada en las pantallas, comprobando de igual forma el correcto funcionamiento de la lógica programada.

Luego de efectuadas estas pruebas, se procedió a realizar la verificación del funcionamiento del sistema automatizado.

5.3.3. Validación del funcionamiento del sistema

La validación del cálculo del flujo de dosificación y por ende del funcionamiento del sistema se llevó a cabo en base a dos pruebas.

a) Cálculo de flujo de dosificación

Esta validación se realizó comparando el flujo de dosificación de químico mostrado en las pantallas de los tableros, contra el flujo de dosificación correspondiente indicado en las tablas suministradas por los operadores, dicha comparación se efectuó bajo diversas condiciones turbidez y caudal de agua cruda. Con esta prueba, se logró validar el cálculo interno del flujo de dosificación realizado por cada controlador.

b) Flujo de dosificación en cada bomba

Esta prueba consistió en verificar el flujo de dosificación calculado por cada controlador contra el flujo dosificado por cada bomba. Para esto los operadores realizaron la medición de flujo dosificado mediante el cilindro graduado adyacente a las bombas de dosificación. Dicho valor fue comparado con el valor mostrado en la pantalla del tablero, corroborando la correcta conversión del valor crudo de flujo de

dosificación calculado a señal analógica en corriente de 4-20 mA enviada a cada una de las bombas de dosificación.

Cabe destacar que las validaciones y verificaciones del sistema han sido aprobadas y avaladas por el cliente final. En el Anexo 7, se muestra el aval de funcionamiento y completa operatividad del sistema implementado, de fecha 3 de septiembre de 2012.

CAPÍTULO VI

PROYECCIÓN DEL SISTEMA SCADA WEB

En los capítulos previos se ha explicado el funcionamiento y estructura del sistema implementado de dosificación automática de coagulante y floculante. En este capítulo se expone la proyección del sistema de adquisición de datos y control supervisorio del proceso a nivel local y a través de una conexión web o por Internet.

El sistema de adquisición de datos se podría ubicar en la sala de control de la caseta principal de la Planta Río Neverí. Para realizar la comunicación entre el sistema supervisorio y los elementos de control del sistema implementado, se plantea el uso de protocolo TCP/IP, el cual identifica a cada uno de los elementos de control con una dirección IP y cuenta con completa compatibilidad con los puertos RJ45 que poseen los computadores actuales. De esta forma, el sistema de control supervisorio podría tener acceso a todos los dispositivos instalados mediante un solo cable Ethernet categoría 5E conectado a cualquiera de los dispositivos. Además, debido a las características del protocolo TCP/IP, el sistema de supervisión y control podría ser instalado en un computador servidor que soporte aplicaciones web y de este modo se tendría acceso al sistema de control instalado desde cualquier dispositivo con conexión de Internet.

El cable que comunicaría al sistema de supervisión con el sistema de control implementado podría estar canalizado en una tubería IMC de ½" desde la caseta principal de la planta hasta el tablero de control de dosificación de coagulante, debido a que éste se encuentra a menor distancia de la caseta que el resto de los tableros.

Es de destacar la necesidad de una interfaz visual para la interacción con el proceso debido a la complejidad del mismo. Dicha interfaz podría ofrecer las mismas

características de diseño presentes en las pantallas táctiles de los dos (2) tableros de control de dosificación, en un plano más amplio y cómodo de operación. En la actualidad, existen diversas compañías que comercializan programas para el desarrollo de sistemas supervisorios, tales como WINCC de la casa Siemens, Power Logic SCADA de Schneider, Wonderware de Invensys, NI Lookout de National Instruments, entre otros. Cada uno de ellos ofrece las prestaciones necesarias para diseñar la interfaz y desarrollar el sistema de control supervisorio que se adapte al proceso. No obstante, dado que la empresa EDT Ingeniería está registrada y posee las licencias para integrar sistemas diseñados con Wonderware de Invensys, el sistema de supervisión sería diseñado y desarrollado bajo dicha plataforma.

De forma genérica el sistema de supervisión, además de interactuar con el sistema implementado, permitiría almacenar las variables de interés en históricos o bases de datos ubicadas en el computador en que se instalen, ofrecería la capacidad de generar reportes y análisis de datos registrados, generaría una base de datos de alarmas asociadas con la lógica de control diseñada, de tal forma que se podría llevar registro, por ejemplo, de la cantidad de veces que la turbidez de agua precipitada ha estado fuera de rango. Por último, se podría tener acceso a todas estas prestaciones desde una conexión a internet.

El sistema estaría instalado en computadores con características de servidor, con un disco duro de gran capacidad de almacenamiento y otro para respaldo de datos, capacidad de procesamiento rápido de datos para la adquisición en tiempo real sin retardos de las variables y con características de hardware interno que permitan el rendimiento necesario para estar encendido 24 horas durante largos períodos de tiempo.

6.1. SISTEMA SCADA BAJO PLATAFORMA WONDERWARE

El paquete de software Wonderware Development Studio Consignment, cuenta con una arquitectura de aplicaciones que permiten realizar sistemas para la gestión e interacción con procesos industriales automatizados, estos programas que cubren acciones como el diseño de interfaces HMI, configuración para la comunicación entre los dispositivos de control y el computador donde se encuentra el sistema supervisorio, graficar en tiempo real variables de interés, guardar en base de datos los registros de dichas variables y diseñar una aplicación web que permita a los operadores acceder al proceso desde cualquier parte con una conexión a Internet.

6.1.1. Descripción de programas de Wonderware

A continuación se describe brevemente los programas del paquete de software Wonderware Development Studio Consignment.

- Wonderware InTouch

Permite diseñar interfaces de visualización gráficas HMI con librerías de simbologías referentes a elementos utilizados a nivel industrial. Permite vincular mediante etiquetas variables de proceso con los símbolos del diseño, logrando que los operadores del sistema puedan percibir cambios en dichas variables de manera numérica y visual.

- Wonderware Device Integration

Contiene librerías de comunicación o servidores de entrada y salida (I/O Servers and DAServers). Permite configurar la comunicación del sistema supervisorio con dispositivos de control.

- Wonderware IndustrialSQL Server

Software con el que se definen, configuran y crean bases de datos destinadas a almacenar los valores de las variables de proceso designadas.

- Wonderware Historian

Funciona como gestor de datos y permite acceder de forma rápida a los históricos de variables almacenados.

- Wonderware Active Factory

Aplicación para el análisis y visualización gráfica de las variables de proceso adquiridas en tiempo real y en un tiempo pasado. Permite importar los registros que están siendo adquiridos en tiempo real a una base de datos específica o a una hoja de datos en el software Excel de Microsoft.

- Wonderware Application Server

Integra las aplicaciones descritas anteriormente en lo que se define como galaxia. Desde un panel central permite diseñar, configurar, y vincular los elementos, acciones, registros y bases de datos deseadas.

6.1.2. Diseño de la interfaz HMI del SCADA bajo plataforma Wonderware

Para el diseño de la interfaz HMI del SCADA, se instalaron las aplicaciones descritas en el punto anterior en una computadora portátil con sistema operativo Windows Server 2003:R2, identificada con el nombre NEVERI-SERVER y que

cuenta con una tarjeta de red para conexiones inalámbricas y una tarjeta Ethernet con puerto RJ45. Se escogió este sistema operativo debido a la futura necesidad de implementar el sistema supervisorio en un servidor web y porque para el momento de la instalación de las aplicaciones de Wonderware se contaba con el serial original del mismo.

Una vez instalado el software necesario, se diseñó con Woderware InTouch, una interfaz visual para la interacción con el proceso tal que, tuviese los mismos parámetros y funcionamientos que han sido definidos para los íconos y símbolos en la interfaz de las pantallas táctiles implementadas.

A continuación se muestra en la Figura 50, la ventana principal de control supervisorio diseñada, en ésta se puede observar todo el sistema de control de dosificación automática del químico coagulante y el químico floculante, conservándose la similitud en la distribución y simbología de los elementos utilizados en la interfaz visual de las pantallas táctiles, además se puede observar en la parte baja, íconos que permiten la interacción con el proceso.

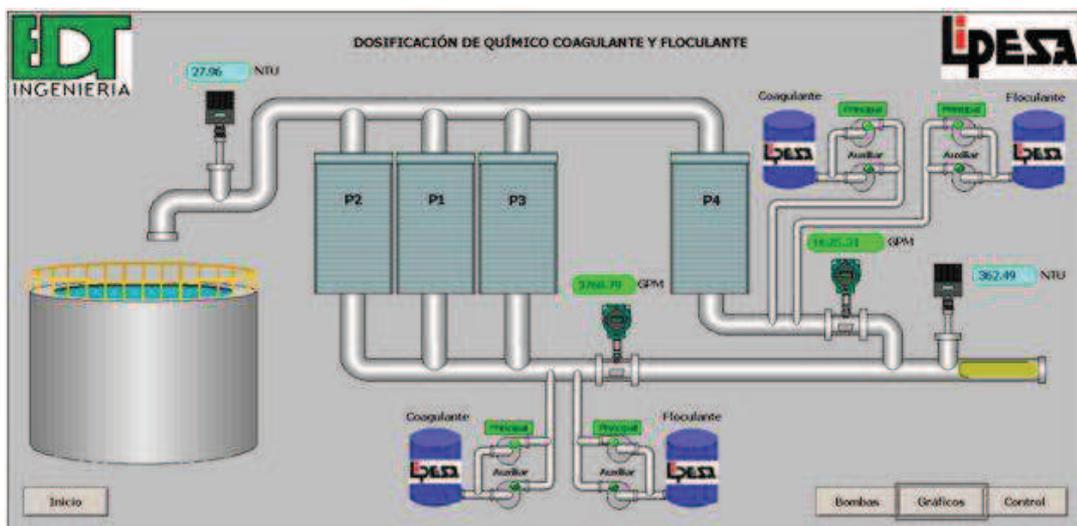


Figura 50. Ventana HMI principal de proceso del sistema SCADA.

De forma similar a las ventanas HMI de los tableros, la ventana principal de proceso cuenta con el botón “Control” el cual vincula con un menú principal que muestra las acciones a realizar por los operadores. En la Figura 51, se puede visualizar la estructura de dicho menú.



Figura 51. Menú de control del sistema supervisorio.

Debido a que se cuenta con un mayor espacio de pantalla en la interfaz del sistema supervisorio, las dos tablas para el ingreso de rangos de turbidez para la dosificación de cada químico fueron ubicadas en una ventana. En la Figura 52, se observa la ventana para el ingreso de rangos de turbidez para la dosificación de coagulante. En ésta, se muestra del lado izquierdo la tabla para ingresos de rangos de turbidez para la dosificación a los precipitadores 1, 2 y 3. De igual forma, del lado derecho se ubicó la tabla de ingreso de dichos rangos de turbidez para la dosificación hacia el precipitador 4. En la parte baja de ambas tablas se colocó la misma interfaz para la verificación de datos válidos diseñada en el sistema de control implementado. La misma ventana fue diseñada para la dosificación de floculante.

CONTROL DE DOSIFICACIÓN DE COAGULANTE

Rangos para Curvas de Dosis Coagulante P1P2P3			
Tramo	Rangos de Turbidez (NTU)		
1	0	A 0	
2	0	A 0	
3	0	A 0	
4	0	A 0	
5	0	A 0	

Rangos para Curvas de Dosis Coagulante P4			
Tramo	Rangos de Turbidez (NTU)		
1	0	A 0	
2	0	A 0	
3	0	A 0	
4	0	A 0	
5	0	A 0	

Datos válidos

Datos válidos

Figura 52. Ventana para ingreso de rangos de turbidez del sistema supervisorio.

En todas las ventanas donde se ingresan o se cambian datos, se realiza una confirmación al operador por parte del sistema supervisorio. Una vez aceptada la confirmación, se escriben dichos datos sobre el controlador. En caso contrario, se ha implementado el botón deshacer, el cual reescribe o refresca en pantalla los valores que se encuentran en el PLC.

Para el ingreso y ajuste de las rectas de dosificación, se diseñaron 5 ventanas para cada uno de los 4 casos de dosificación de reactivos. En la Figura 53 se muestra la estructura de una de estas ventanas, donde se observan dos rectas de dosificación de dos tramos continuos de turbidez. Cada una de las rectas tiene la misma estructura diseñada en la interfaz de los tableros y en la parte superior, se encuentra la identificación del tramo de turbidez al que corresponden. También puede observarse en la parte baja de la ventana, una serie de botones identificados con los tramos de turbidez que permiten la navegación sencilla por cada par de rectas.

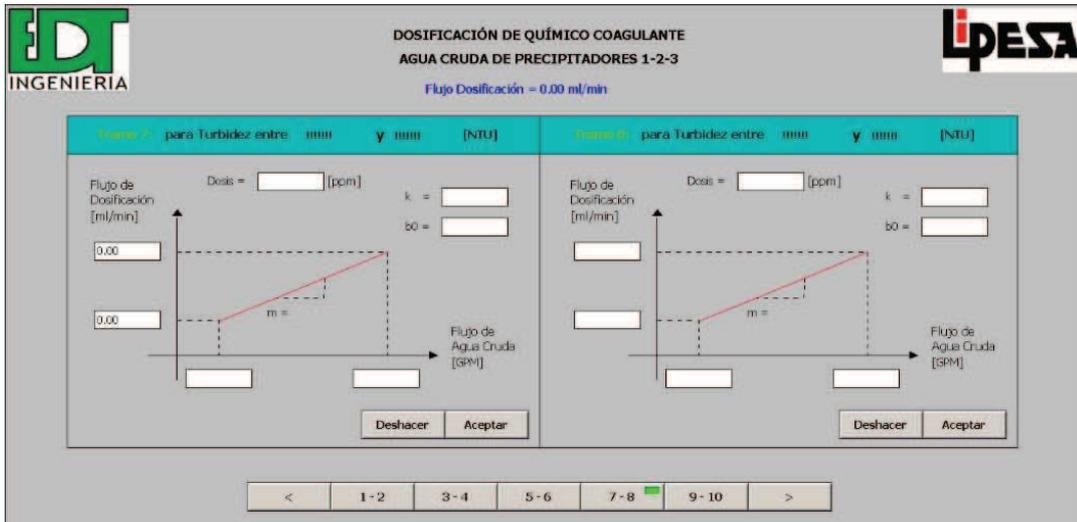


Figura 53. Ventana para ajustes de rectas de dosificación del sistema supervisorio.

Para el ingreso de límites de alarmas se ha diseñado una ventana común donde se pueden ingresar o ajustar en la tabla correspondiente, los límites de turbidez de agua cruda y agua precipitada para el encendido o apagado automático de alarmas. Ésta puede ser observada en la Figura 54. Dicha ventana cuenta con la misma interfaz para la indicación de datos válidos.

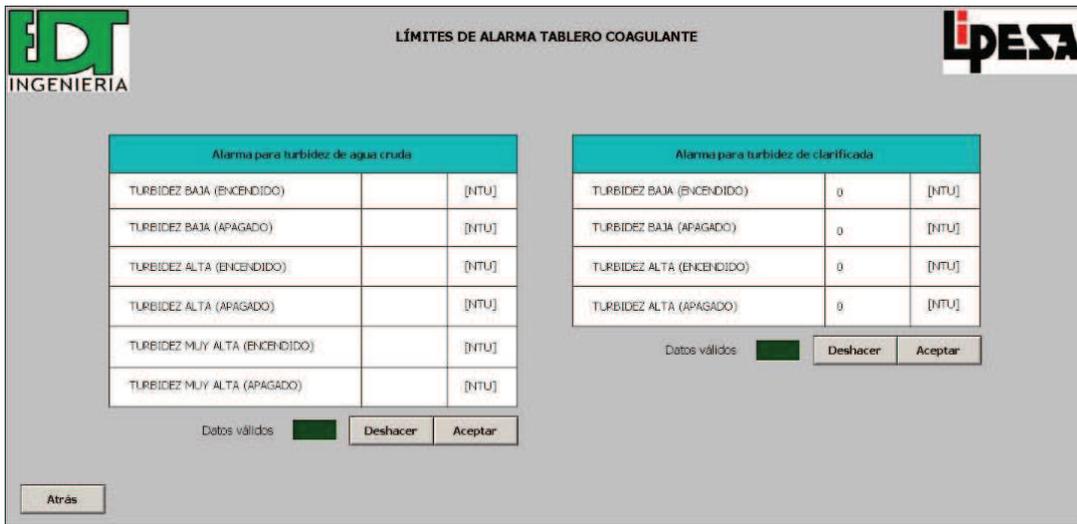


Figura 54. Ventana para ingreso de límites de alarmas del sistema supervisorio.

Para la conmutación de las bombas de dosificación, se puede observar en la Figura 55, la ventana diseñada conformada por un panel donde se muestran el acceso al encendido o apagado de las 8 bombas que conforman el sistema. En la parte superior del lado izquierdo se encuentran 2 perillas para las bombas, principal y auxiliar, de dosificación de coagulante hacia el precipitador 1, 2 y 3, del lado derecho se muestran 2 perillas de las bombas, principal y auxiliar, de dosificación del químico coagulante hacia el precipitador 4. La misma configuración es mostrada en la parte inferior del panel para la dosificación del químico floculante.



Figura 55. Ventana conmutación de bombas del sistema supervisorio

Cada una de las variables, luces piloto, nombres de identificación, entre otros, mostradas en la ventana principal y las ventanas diseñadas están asociadas mediante *tags* con los registros correspondientes utilizados por los controladores implementados.

6.1.2.1. Históricos de variables de interés (Gráficos)

El sistema supervisorio cuenta con la posibilidad de graficar en tiempo real y registrar en históricos los cambios de las magnitudes de las variables de interés. Esto

se realiza mediante la herramienta *Trend* de Wonderware Active Factory integrada en el diseño del HMI del SCADA a la cual se puede acceder con el ícono “Gráficos” ubicado en la parte inferior derecha de la ventana principal. En la Figura 56, se muestra el ambiente de trabajo de dicha aplicación, posee un menú para seleccionar los *tags* vinculados al sistema que se desea graficar, un panel donde se traza la gráfica con el eje correspondiente de tiempo y un menú para seleccionar los *tags* a ser mostrados en el panel de gráficas.

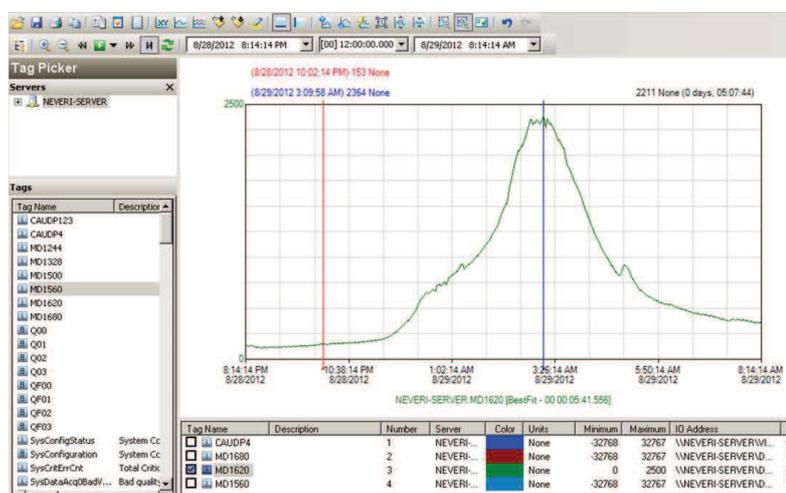


Figura 56. Ambiente de trabajo del Active Factory.

6.1.2.2. Comunicación con los dispositivos de control

La comunicación local entre el sistema supervisorio y los controladores implementados, se realizó mediante la instalación del software Wonderware Device Intergration y la aplicación SIDirect DAServer 2.0. Con esta aplicación se configuró la comunicación al PLC S7-1200 de Siemens mediante protocolo TCP/IP, asignando al computador donde se encuentra instalado el sistema supervisorio, una dirección IP distinta a las de cada uno de los elementos de control conectados por la red digital ProfiNet. Además, con este software se realiza la vinculación de cada uno de los registros de los tres PLCs implementados con el sistema supervisorio mediante los *tags* direccionados. En el Anexo 8, se muestran las ventanas correspondientes a la

configuración realizada para la adquisición de datos por parte del sistema supervisorio.

6.1.2.3. Validación del sistema SCADA local

Luego de creada el HMI del SCADA y configurado los parámetros de comunicación y vinculación con los registros de los PLCs instalados, se procedió a realizar las pruebas de interacción con el proceso activando el modo *Runtime* de la aplicación creada con InTouch y conectando, mediante un cable UTP categoría 5e, el PLC de control de dosificación de coagulante con el computador portátil ubicado temporalmente en la caseta principal de la Planta Río Neverí.

Hecho esto, se realizaron cuatro pruebas esenciales en tiempo real:

a) Verificación de la magnitud de las variables adquiridas y flujo de dosificación

Se corroboró los valores de los instrumentos y el flujo dosificado en la pantalla del computador portátil, comunicándose a través de radio con un operador frente los tableros de control de dosificación de coagulante y floculante.

b) Verificación de interacción con la conmutación de bombas

En el panel de bombas del HMI del SCADA, se procedió a activar y desactivar desde el computador portátil, las bombas de dosificación de coagulante y floculante, recibiendo la confirmación del operador ubicado frente a los tableros. De igual forma se observó el cambio en el computador, una vez que el operador conmutaba las bombas de dosificación desde los tableros de control.

c) Verificación de ajustes de las rectas de dosificación

Se cargaron las rectas de dosificación de químico desde el computador mientras un operador observaba la pantalla táctil ubicada en el tablero de dosificación de químico. Luego se realizó el ajuste de dichas rectas desde los tableros de control ubicados en planta y se observaron los cambios en el computador.

d) Verificación visual del comportamiento y respuesta del sistema implementado en planta

Se realizó con la herramienta *Trend* del Active Factory integrada al HMI del SCADA. Para poder observar la respuesta del sistema ante un cambio drástico de la turbidez de agua cruda, los operadores de la planta apagaron y encendieron una de las tres bombas de agua de entrada a la planta. Debido a la experiencia que han tenido al realizar esta acción, garantizaron un aumento temporal de la turbidez de agua cruda provocado por la agitación en el agua que produciría la bomba una vez que se volviera a encender.

Esto se realizó el 1 de septiembre de 2012, con un rango caudal de agua de entrada hacia los precipitadores 1, 2 y 3 entre 3.170 y 3.800 gpm. En la Figura 57, se puede observar gráficamente, la respuesta del flujo de dosificación de coagulante ante las condiciones dadas.

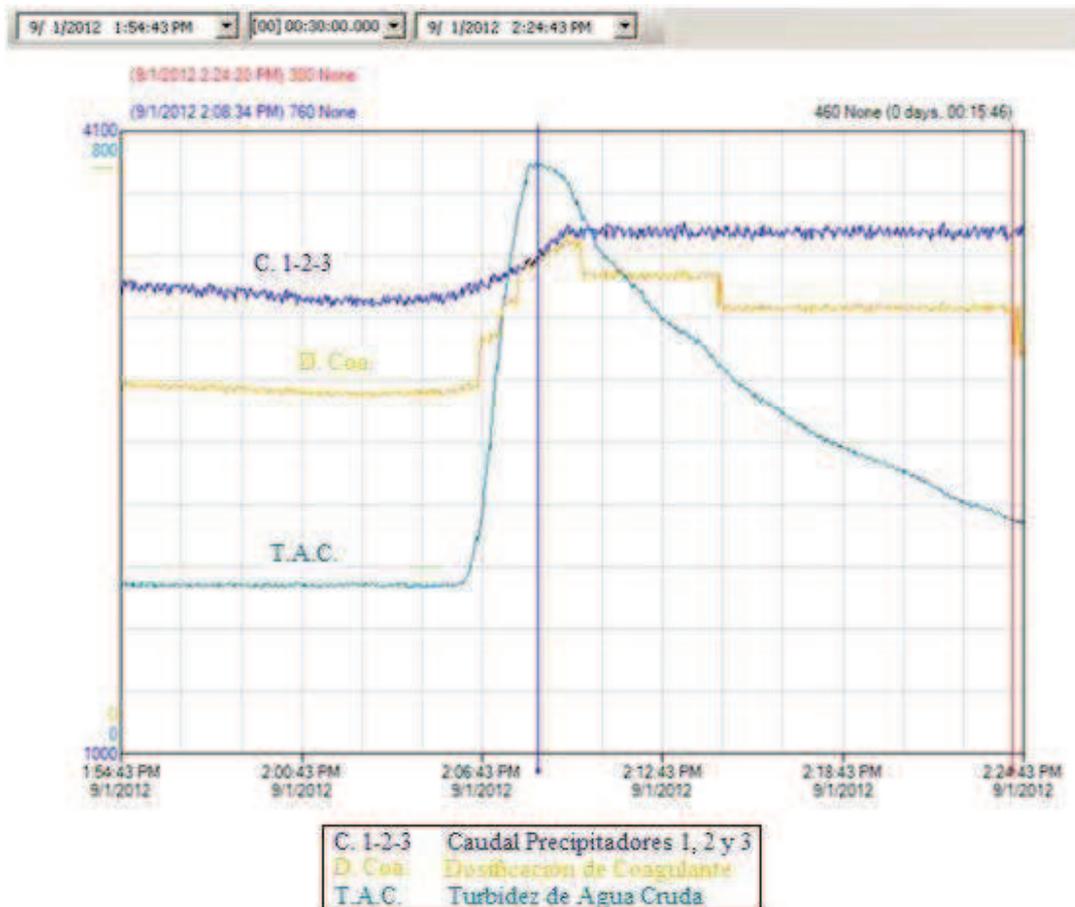


Figura 57. Variación de flujo de dosificación de coagulante hacia los precipitadores 1, 2 y 3.

A partir de la 1:54 pm mientras la turbidez de agua cruda mantuvo un valor constante cercano a los 220 NTU, se registró una ligera caída en el caudal de agua cruda dirigida hacia los precipitadores 1, 2 y 3, este cambio se ve reflejado en la disminución del flujo de dosificación de coagulante, debido a que el cálculo está siendo realizado sobre la recta de dosificación correspondiente al valor de turbidez medido y es afectado por las variaciones del caudal de entrada.

Seguidamente, se puede apreciar un aumento brusco y continuo de la turbidez de agua cruda, de 220 NTU hasta aproximadamente 760 NTU, provocado por el encendido de la bomba y de igual forma se observa un ligero aumento en el caudal de

agua de entrada. Estos cambios provocan un aumento escalonado del flujo de dosificación de coagulante con seguimiento del caudal de agua de entrada entre cada escalón. Este comportamiento se debe a que el flujo de dosificación calculado por los operadores reflejado en las tablas no es continuo entre cada tramo de turbidez. El valor máximo de turbidez registrado permanece constante aproximadamente un (1) minuto, para este instante, el proceso de cálculo de flujo de dosificación se realiza sobre la recta correspondiente a ese valor de turbidez y es afectado directamente por el aumento de caudal, esto se ve reflejado en un incremento continuo del flujo de dosificación para el momento indicado.

Posteriormente, el flujo de dosificación disminuye mientras disminuye la turbidez del río. En este tramo se puede apreciar con mayor claridad, cómo el flujo de dosificación calculado realiza un seguimiento continuo del valor de caudal de entrada entre cada escalón. Por último, las válvulas que regulan el caudal de agua de entrada mantienen un punto de operación de 3.600 gpm aproximadamente, esto causado por la mayor cantidad de entrada de agua a la planta luego del encendido de la tercera bomba principal.

En vista de poder apreciar el comportamiento del sistema de control implementado ante variaciones naturales de turbidez y caudal, en la Figura 58, se muestran todas las señales de interés del sistema automatizado registradas por el sistema supervisorio en un periodo de 12 horas, desde las 2:06 am hasta 2:06 pm del 1 de septiembre de 2012.

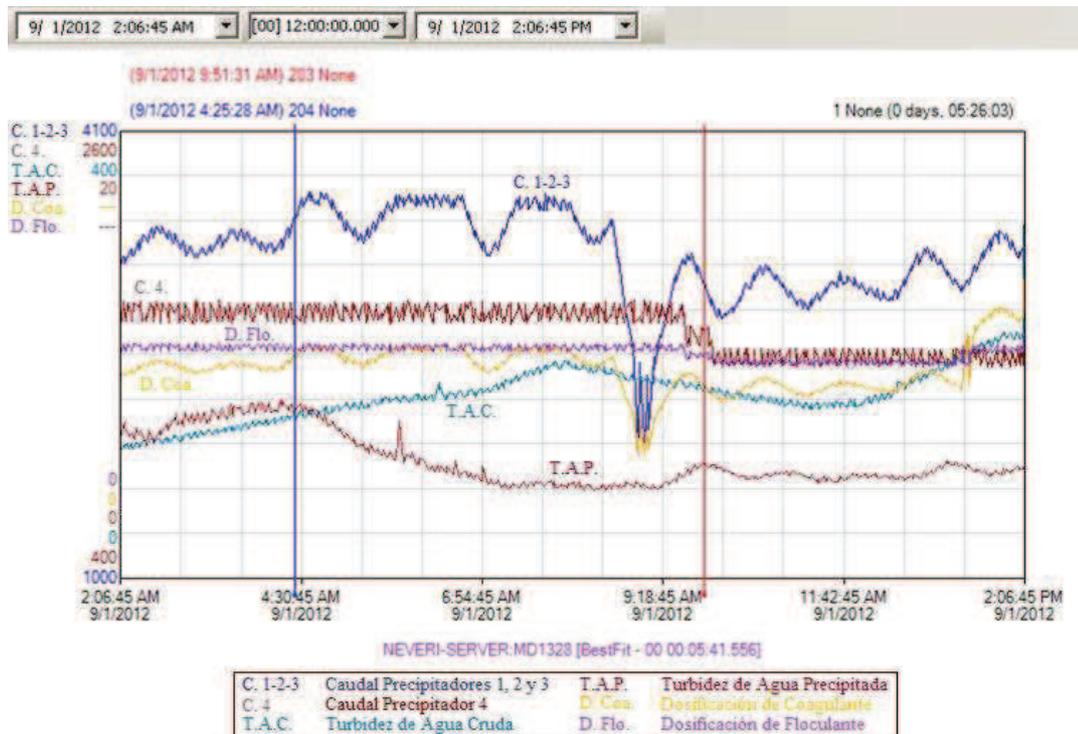


Figura 58. Variación de flujo de dosificación de químico coagulante a los precipitadores 1, 2 y 3 ante variaciones controladas del caudal de agua cruda.

A partir de las 2:06 am, se puede apreciar el control automático del caudal de agua de entrada de la línea de proceso dirigida hacia los precipitadores 1, 2 y 3 (C. 1-2-3). Las variaciones que se observan, se deben al proceso de mantener el punto de consigna de caudal de entrada asignado por los operadores de la planta, mientras se verifica la capacidad del tanque de agua precipitada. Debido a que ésta línea de proceso maneja un poco más del 75 % del agua entrada, se regula de forma automática el caudal de agua de entrada evitando que el tanque de agua precipitada se rebose. De igual forma, se observa el control automático estable con un *setpoint* de 1.300 gpm de caudal de agua de entrada dirigido hacia el precipitador 4 (C. 4).

Además, se puede visualizar un aumento de la turbidez de agua cruda (T.A.C.) a partir de 120 NTU. Durante este aumento, el flujo de dosificación de químico floculante dirigido hacia el precipitador 4 (D. Flo.) presenta un comportamiento lineal

debido a que, basado en las tablas suministradas por los operadores, se determinó que tiene comportamiento con modelado lineal a trozos que depende mayormente de las variaciones de caudal de agua de entrada en lugar de las variaciones de turbidez. Esto se ve reflejado en que para el aumento de turbidez de agua cruda, la dosis de floculante tiende a mantenerse.

Asimismo, se puede apreciar cómo el flujo de dosificación de coagulante (D. Coa.) dirigido hacia los precipitadores 1, 2 y 3, mantiene un comportamiento oscilatorio siguiendo la forma del caudal de agua de entrada dirigida a éstos precipitadores, esto debido a que el cálculo del flujo de dosificación se está realizando sobre la recta de dosificación de un mismo tramo de turbidez. El rizado que se observa en ambas curvas de dosificación, viene dado por las variaciones en la medición de caudal de agua de entrada, generadas por las perturbaciones de las válvulas de regulación.

La curva de turbidez de agua precipitada (T.A.P.) es presentada en una escala de 0 a 20 NTU, en esta se puede apreciar que los valores registrados las primeras seis (6) horas, se encuentran en un rango de 4 a 8 NTU. El ligero aumento de 6 NTU a cerca de 8 NTU que se observa entre las 2:06 am y 4:30 am, es debido a las lentas variaciones del sistema respecto al agua precipitada.

La acción de la dosificación automática de químicos bajo estas condiciones, se ve reflejada en la disminución de la turbidez de agua precipitada de 8 a 4 NTU a partir de las 4:30 am, mientras la turbidez del agua cruda continuaba aumentando. Durante la reducción de turbidez de agua precipitada registrada (T.A.P.), se pueden observar tres picos, donde el más notable tuvo una duración de diez (10) minutos aproximadamente el cual pudo haber sido provocado por el arrastre de lodo proveniente de las paredes o del fondo del tanque de agua precipitada.

En ésta gráfica, se puede apreciar una caída gradual en el caudal de agua de entrada dirigida a los precipitadores 1, 2 y 3 (C. 1-2-3), generada por el proceso de purga de lodo de uno de los tres precipitadores. Esta disminución regulada de caudal la realizan los operadores de la planta para garantizar, que a medida que se expulsa agua de uno de los precipitadores, no se generen turbulencias que pudieran aumentar la turbidez. Luego de la disminución del caudal de entrada, se lleva a cabo la descarga de lodo del precipitador en mantenimiento. Finalizado este procedimiento, los operadores de la planta aumentan gradualmente el caudal de entrada de los precipitadores 1, 2 y 3. Con esta perturbación en el sistema, se puede apreciar cómo el régimen de control que posee la dosificación automática de químicos implementado, mantiene la turbidez de agua precipitada en el rango deseado.

Una vez que se finalizaba el procedimiento de purga, se puede apreciar una regulación automática del caudal de agua de entrada dirigida hacia el precipitador 4 (C. 4). Esta regulación fue ejecutada con la finalidad de regular la cantidad de agua presente en dicho precipitador. En la última parte de éste gráfico, se puede observar el aumento escalonado en la dosificación de coagulante (D. Coa.), esto evidencia un cambio entre tramos de turbidez definidos, y por ende, el cambio de la recta de dosificación con la que el controlador está realizando el cálculo de la dosis.

De esta forma, con este gráfico se puede apreciar cómo con cambios naturales de turbidez y caudal, así como con perturbaciones al sistema, la turbidez de agua precipitada se mantiene en el rango óptimo requerido por el cliente final, validando el funcionamiento del sistema de dosificación automática coagulante y floculante implementado.

6.2. INSTALACIÓN DE SOFTWARE PARA SCADA WEB

Dada la proyección de ofrecer la conexión al sistema supervisorio diseñado desde cualquier conexión de internet, se procedió a configurar e instalar el software necesario para el soporte de una aplicación web sobre el sistema operativo Windows Server 2003:R2. A continuación se mencionan las aplicaciones utilizadas.

- IIS y ASP.NET.
- Windows SQL Server 2008.
- Microsoft Sharepoint Services 3.0.

En el Anexo 9 se describen las aplicaciones mencionadas y se exponen las configuraciones realizadas para la publicación web del sistema supervisorio diseñado.

Configuración del DNS y Active Directory en Windows Server 2003

El DNS o Sistema de Nombres de Dominios es un software en los sistemas operativos servidores y está encargado de asignar un nombre a la dirección IP de la tarjeta de red con la que el computador se comunica a internet, de esta forma todos los computadores que deseen acceder al servidor desde internet lo pueden realizar mediante dicho dominio. Por su parte, el Active Directory permite administrar las cuentas, contraseñas y grupos de usuarios del servidor y se almacenan en las bases de datos creadas en el SQL Server.

Para el servidor donde se instalaron éstas y las aplicaciones anteriores, se asignó mediante DNS el nombre “neveri.local” a la dirección IP del computador utilizada en la tarjeta de red inalámbrica. Luego de definir el nombre del dominio, se configuró el Active Directory del servidor, el cual crea una cuenta de administrador y un grupo de usuarios bajo el dominio del servidor con el siguiente formato

“user.localhost.domain”, por tanto las cuentas de usuario creadas en el computador servidor están direccionadas de la forma “usuario.neveri-server.neveri.local”. En la Figura 59 se puede observar el panel de configuración del Active Directory en el servidor del SCADA.

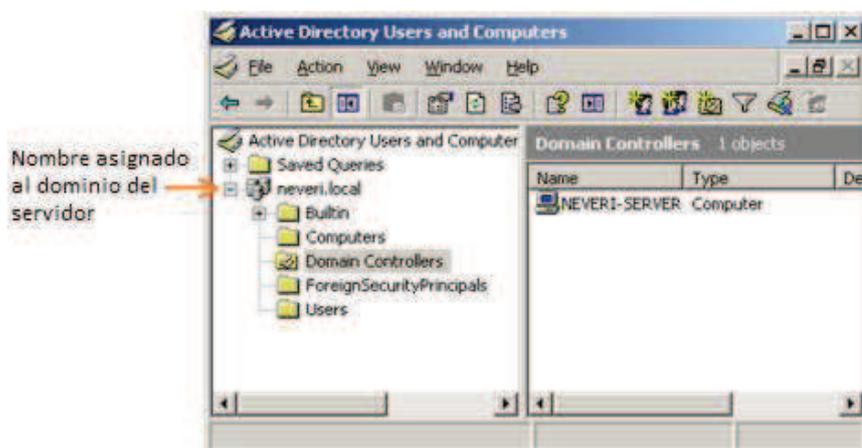


Figura 59. Panel de configuración de usuarios de Active Factory.

Una vez instaladas y configuradas las aplicaciones necesarias, se procedió a instalar la aplicación web para la publicación del sistema SCADA diseñado.

6.3. PUBLICACIÓN A INTERNET DEL SCADA DISEÑADO

6.3.1. Wonderware Information Server

Wonderware Information Server o WIS, es una aplicación que publica en una página web, sistemas supervisórios creados con el paquete de software Wonderware Development Studio Consignment. Además, permite al administrador del servidor otorga accesos de cuentas y/o grupos de usuarios con contraseñas individuales o compartidas que estén configuradas en el Active Directory del dominio del servidor.

Durante la instalación de ésta aplicación, el WIS ubicó automáticamente la página inicial por defecto del servidor y alojó la aplicación web con un vínculo de la

forma “http://neveri-sever/Wonderware”. En la Figura 60 se observa en la parte izquierda, el elemento Wonderware guardado en la página principal por defecto o *Default Web Site* del servidor administrado por el IIS.

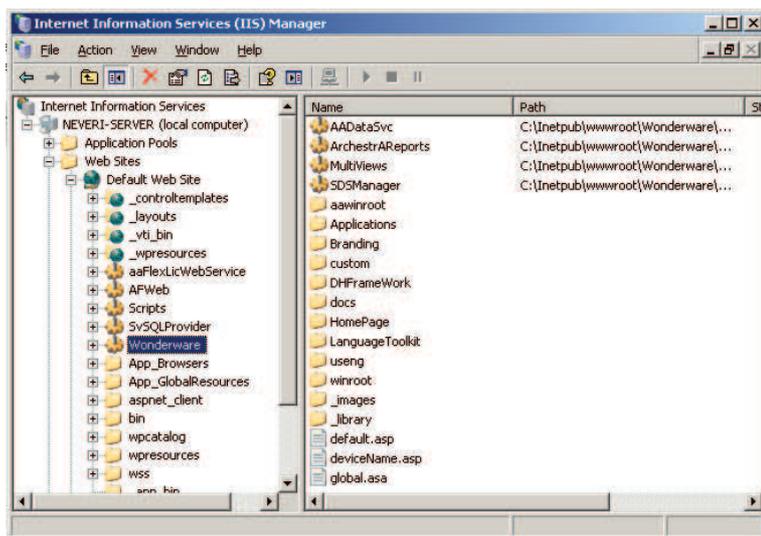


Figura 60. Aplicación de WIS instalada en el servidor.

La configuración de seguridad principal para el acceso a este sitio fue requisito durante la instalación, solicitando el nombre de usuario y contraseña del administrador del dominio del servidor como cuenta principal. Una vez terminada la instalación y configuración, se accedió a la página web del WIS desde el computador servidor ingresando la dirección <http://neveri-sever/Wonderware>. Antes de desplegarse la aplicación, se mostró la ventana de seguridad principal, la cual puede ser apreciada en la Figura 61, en ésta se observa que el nombre de usuario y contraseña ingresada corresponde a la cuenta del administrador del servidor, ya que para éste punto no ha sido creada ni editada otra cuenta en el dominio.



Figura 61. Ventana de seguridad para ingresar al WIS.

Luego de que han sido verificados los datos del usuario, se muestra el panel principal del sitio web. En la Figura 62, se puede observar que dicho panel posee un menú de administración y de vinculación con las aplicaciones de Wonderware Development Studio Consignment integradas en el servidor y además, cuenta con íconos para acciones básicas como ir a la ventana principal, ayuda, información acerca de la aplicación y cierre de sesión.

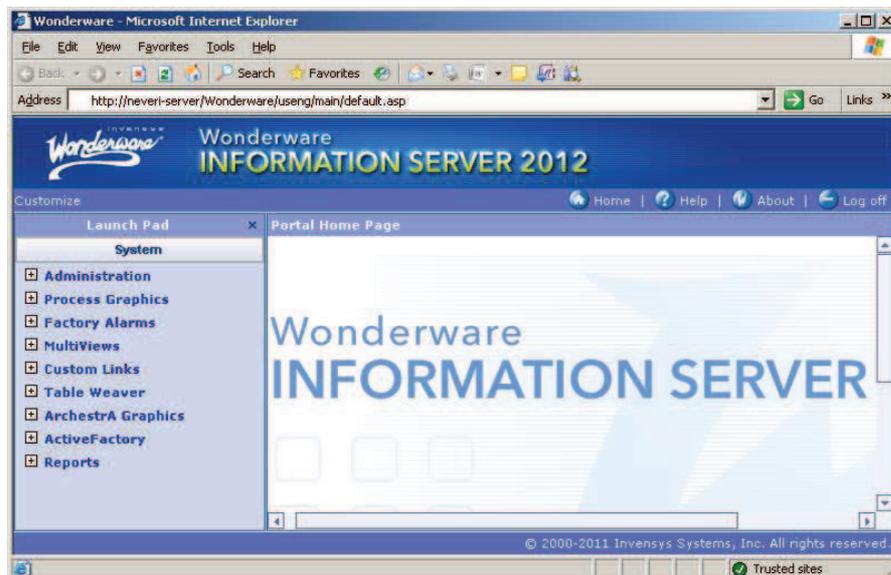


Figura 62. Panel principal de la página web creada por el WIS.

6.3.1.1. Archestra Web-Exporter

La aplicación Archestra Web-Exporter es un complemento de Wonderware que adapta y publica mediante proyectos web, el diseño de la interfaz del sistema supervisorio, manteniendo las vinculaciones de los *tags* del sistema con los registros de los controladores en planta. Además dicha aplicación permite crear vínculos y menús donde se puedan publicar el sistema SCADA como un todo o de forma separada en el panel de WIS.

Este complemento verifica que en el servidor exista la página web creada por el WIS. Luego de dicha verificación, se creó un proyecto web donde se cargaron los símbolos, *tags* de registros y ventanas del diseño HMI del sistema supervisorio. Seguidamente se vinculó el proyecto creado nombre Neverí en un nodo del menú principal del Wonderware Information Server. En la Figura 63 se puede observar el proyecto creado con nombre NEVERI.

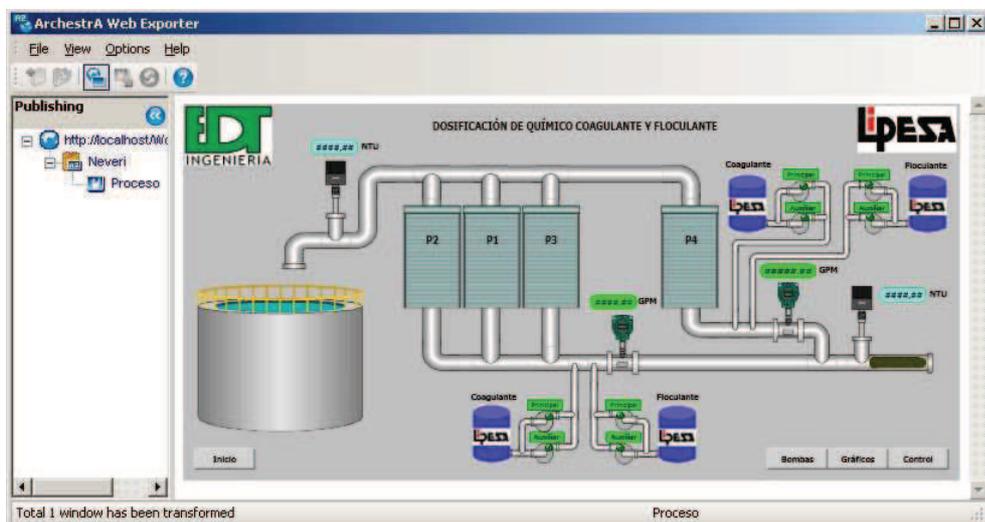


Figura 63. Publicación de la aplicación InTouch mediante Web Exporter.

6.3.1.2. Administración y seguridad del SCADA web

Para guardar concordancia con los dos niveles de seguridad asignados (supervisor y operador) para la interacción con las pantallas táctiles y para el SCADA diseñado, acceder al SCADA publicado en el WIS y debido a que el WIS está completamente integrado al dominio creado en el servidor, se crearon estas cuentas de usuario en el dominio del servidor con el Active Factory, así podrán acceder a la aplicación web. Por su parte el WIS crea cuatro grupos de usuarios por defecto asociados a un rol con un nivel de permiso para poder interactuar con el SCADA publicado, estos roles son los siguientes:

- *Administrator*: Cuentan con la posibilidad de realizar todas las configuraciones posibles en el panel del WIS. Desde ajustes de seguridad hasta cambios en la interfaz del portal. Además pueden realizar todas las acciones de los siguientes tres grupos de usuarios.
- *Engineer*: Están habilitados para interactuar con parte del panel del WIS que le designe el administrador, así como con el SCADA que esté publicado, cuenta con el permiso, si es necesario, de editar los variables o valores presentes en el SCADA.
- *No Access User*: Pueden acceder al panel del WIS desde cualquier conexión de internet, pero sólo podrán observar la ventana principal del SCADA publicado, sin la posibilidad de editar ni navegar por la aplicación.
- *Read Only User*: Pueden navegar por el SCADA publicado, pero sin la posibilidad de editar las variables del sistema.

En la Figura 64, se puede observar en la parte izquierda el rol *Engineer* asignado a los operadores y en la parte izquierda el rol *Read Only User* asignado a los supervisores.

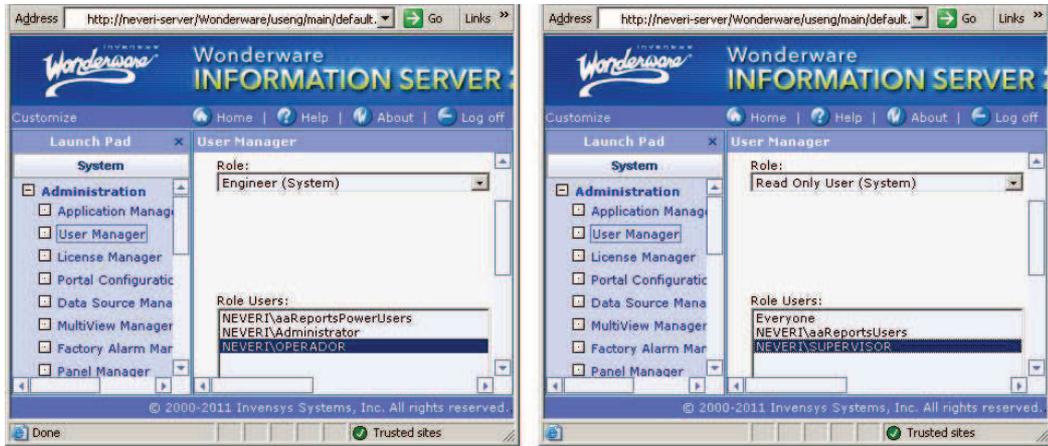


Figura 64. Roles de seguridad asignados para acceder a la aplicación web.

6.3.1.3. Conexión desde internet al sistema SCADA web

Para realizar la conexión al sistema desde Internet, se debió desbloquear la protección que brinda la operadora que ofrece el servicio de internet (CANTV) sobre el puerto 80. De esta forma se puede acceder al portal de WIS que se encuentra alojado en dicho puerto del servidor. En la Figura 65, se observa el esquema de conexión para el acceso al sistema SCADA web desde Internet.

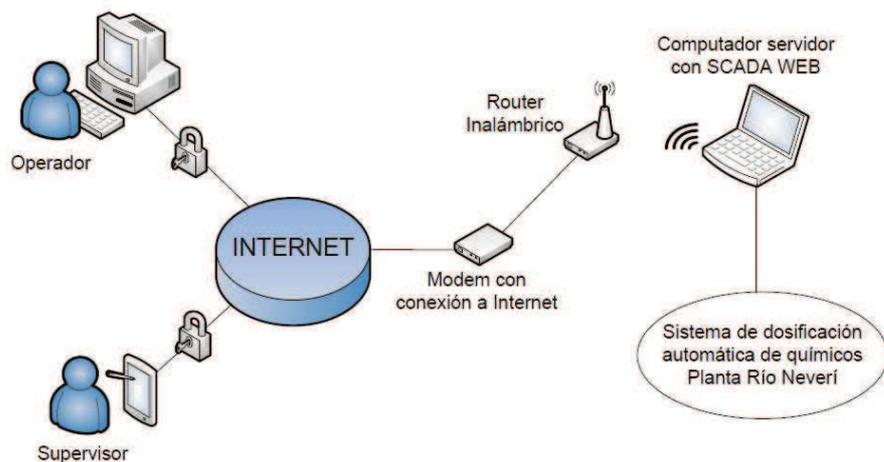


Figura 65. Esquema de conexión desde internet al sistema SCADA web.

Realizadas estas configuraciones, los operadores y supervisores ya están habilitados para acceder a la aplicación web. En la Figura 66 se muestra el panel del WIS donde se ha publicado el sistema SACADA web diseñado.

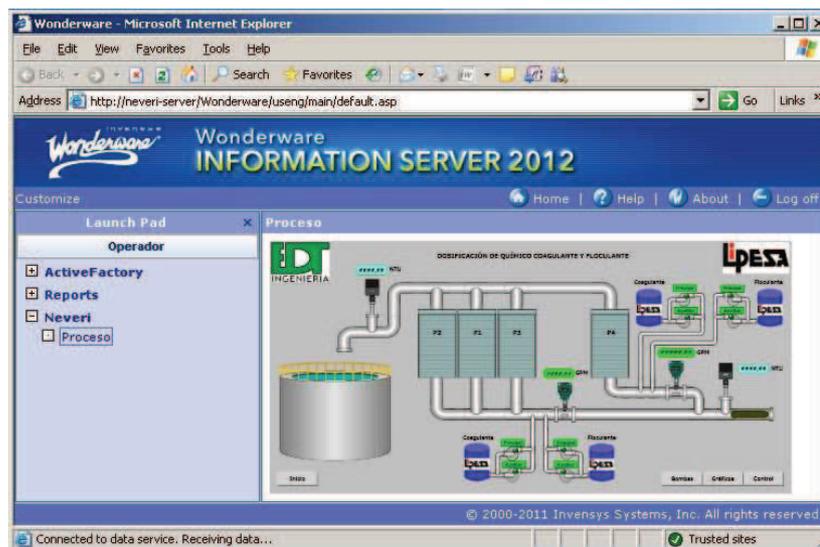


Figura 66. Página web del WIS con el sistema SCADA.

6.3.1.4. Validación del sistema SCADA WEB

Al momento de realizar la publicación del SCADA web en internet, sólo se podía tener acceso al SCADA web mediante la dirección web “http://neveri-sever/Wonderware” a nivel local, es decir, se podía acceder a la aplicación web ingresando la dirección indicada desde una computadora conectada en una red LAN. Se determinó que esto era debido a que para el momento de la configuración del servidor, no se contaba con un dominio pago con terminación (.com, .net, entre otros).

Por tanto, la primera validación de acceso al SCADA web, se ejecutó ingresando la dirección del sitio web de la siguiente forma “NUMEROIP/Wonderware”, siendo NUMEROIP la dirección IP pública suministrada por la operadora de servicio de internet a la cual está conectado el

computador portátil. Este tipo de acceso es posible debido a la configuración del DNS hecha en el servidor, el cual asigna un nombre de dominio del mismo sobre la dirección IP que posee el computador. Las pruebas de conexión y acceso al servidor se realizaron desde otro computador, ubicado fuera de la red local, colocando dicha dirección en un navegador de internet. Para el momento de la conexión se solicitó el nombre de usuario y contraseña para ingresar al portal del WIS, estos fueron ingresados correctamente y previa la verificación de los datos realizada por el servidor, se mostró en la pantalla del navegador el sistema SCADA web.

Durante las pruebas de comunicación desde una conexión a internet con el sistema SCADA web, se determinó la obligatoriedad de ejecutar en el servidor donde se encuentra instalado el SCADA, el modo *Runtime* del HMI desarrollado con la aplicación InTouch. De esta forma, se vinculó internamente la aplicación web del WIS y el sistema supervisorio que ha sido instalado. Una vez realizada esta vinculación, se realizaron las pruebas ejecutadas en la validación del SCADA local, desde un computador con conexión a internet obteniendo resultados satisfactorios de interacción con el sistema.

Para validar el acceso al sistema SCADA web ingresando la dirección de internet de la forma “nombredeldominio/Wonderware”, se contactó al Centro de Procesamiento de Datos de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Central de Venezuela CPD-FIUCV, al que se solicitó un computador con sistema operativo Windows Server 2003:R2 alojado en el dominio del servidor interno de la Facultad de Ingeniería de la UCV “ing.ucv.ve” y con permiso para alojar aplicaciones web en el puerto 80, todo esto para realizar validación comentada con fines académicos.

El CPD-FIUCV suministró un computador con las características solicitadas, al cual se nombró NEVERI-SERVER. En éste, se instalaron y se configuraron las aplicaciones necesarias para el WIS y se publicó el sistema SCADA diseñado con dirección de acceso “neveri-server.ing.ucv.ve/Wonderware”.

Por último, se procedió al acceso al portal de WIS desde un computador con conexión a internet ubicado fuera del recinto universitario. Seguidamente, se ingresaron los datos de seguridad solicitados por el WIS y se realizó con éxito la verificación de conexión al sistema SCADA web alojado en el dominio de un servidor de dominio privado.

CONCLUSIONES

De la realización de este trabajo se derivan las siguientes conclusiones:

Se determinó la dosis correcta de químico coagulante y de químico floculante necesarias para la primera etapa de tratamiento de potabilización, basado en la turbidez y en el caudal del agua proveniente del Río Neverí.

La medición directa de turbidez del agua cruda a tratar permitió, frente a variaciones de esta variable, junto con el modelado lineal a trozos del flujo de dosificación de coagulante y floculante, realizar el cálculo de dosificación de químicos continuo por parte del sistema de dosificación automática implementado.

Se constató durante la implementación del sistema, lo esencial del procedimiento de la purga de lodo acumulado en los precipitadores, para la efectividad del proceso químico producido por los reactivos inyectados. Además, con dicho procedimiento se facilitan los procesos posteriores de potabilización.

La integración de herramientas de programación de PLCs, esquema de conexión de dispositivos y diseño de interfaces HMI para pantallas de interacción, en un solo *software*, facilitó el desarrollo del proyecto de automatización implementado.

Se garantizó el correcto funcionamiento del sistema, mediante el desarrollo de pruebas piloto de comunicación entre los dispositivos de control, antes de ser implementados en campo.

ProfiNet como red de campo digital implementada, proporcionó facilidad de implementación, conexión e interacción entre los elementos de control del sistema y simplificó la supervisión del mismo mediante el SCADA proyectado.

Se validó la selección del grado de protección de los tableros de control, así como de los instrumentos de medición de turbidez durante las fuertes lluvias ocurridas mientras se realizaba la implementación del sistema.

El diseño de la interfaz HMI de las pantallas táctiles ubicadas en los tableros de dosificación, simplificó el esquema de diseño de la interfaz HMI del sistema SCADA proyectado.

Mediante la adquisición de datos realizada con el sistema SCADA diseñado, se comprobó visualmente el correcto funcionamiento del sistema de dosificación de coagulante y floculante implementado, así como la dinámica del mismo ante variaciones naturales del proceso, resultando ser una herramienta útil para la verificación del funcionamiento del sistema.

El sistema SCADA del proceso automatizado se publicó de forma segura, con la aplicación web adecuada y las configuraciones de seguridad necesarias, en un servidor con dirección IP pública.

Se realizaron pruebas de comunicación al sistema implementado, mediante una conexión de internet desde un computador cliente, obteniendo resultados satisfactorios. Esto proporcionó una ventana de operación y reportes sin estar presente en el lugar del proceso.

Se desarrolló un documento que facilitó a los operadores de planta la interacción con el sistema de dosificación implementado, de acuerdo a las impresiones percibidas por parte de los mismos.

RECOMENDACIONES

Colocar un turbidímetro en la línea de proceso dirigida al tanque de agua precipitada de cada uno de los cuatro (4) precipitadores. Esto contribuiría a la supervisión directa de la turbidez del agua presente en cada uno de ellos y se podría determinar, en caso de un aumento considerable de la turbidez en el tanque de agua precipitada, cuál o cuáles de los precipitadores tienen un nivel de lodo que esté causando esta variación.

Sustituir la válvula de regulación de caudal de agua cruda de entrada a la planta dirigida hacia los precipitadores 1, 2 y 3, ya que las perturbaciones provocadas por el golpe de ariete de la válvula se ven reflejadas en el cálculo de flujo de dosificación químico realizado por los controladores correspondientes.

Realizar el mantenimiento sistemático del tanque de agua precipitada ya que parte del lodo acumulado en las paredes y en el fondo de dicho tanque es arrastrado por las bombas de envío de agua hacia los filtros, causando por pequeños periodos de tiempo una variación en la medición de la turbidez de agua precipitada, algo que pudo ser evidenciado en el registro de señales del sistema supervisorio. Igualmente, realizar un mantenimiento continuo de los precipitadores, ya que de no hacerlo pueden dejar fuera de funcionamiento al precipitador.

Automatizar la purga de lodo de los cuatro (4) precipitadores, de esta forma se tendría un control sobre el nivel de lodo en cada precipitador a cualquier hora del día, lo cual compensaría acumulaciones de lodo que pudiesen ser arrastrados al tanque de agua precipitada y seguidamente a la batería de filtros. Esto considerando optimizar el proceso de tratamiento de aguas blancas realizado en la planta.

Automatizar la dosificación de cloro en gas de la planta basado en la detección del funcionamiento de la misma. Esta recomendación está fundamentada en el evento ocurrido durante la implementación del sistema donde hubo una falla del suministro de energía principal y auxiliar a la planta, que tuvo como consecuencia la parada de la misma. En estas circunstancias se pudo evidenciar una fuga de cloro en gas de altas concentraciones debido a que el sistema de dosificación de este químico no depende de la energía eléctrica.

Realizar el mantenimiento de los sensores instalados tal como se indica en el manual de usuario suministrado a los operadores, esto en aras de asegurar una correcta medición de las variables correspondientes y en consecuencia el funcionamiento óptimo del sistema implementado.

Realizar una verificación sistemática de las bombas de dosificación de floculante, dado que la viscosidad de este químico podría crear pequeñas obstrucciones en la tubería de inyección debido a las constantes variaciones del flujo de dosificación. Si estos residuos llegaran a obstruir por completo la tubería de dosificación de químico podría causar el daño permanente de la bomba.

Implementar un sistema SCADA local acorde a la proyección realizada. Esto permitiría registrar y guardar en históricos las variables del proceso, dando la ventaja de poder visualizar en tiempo real el comportamiento del sistema automatizado y de cada una de las variables que lo conforman. Además, proporcionaría la facilidad de realizar ajustes y configuraciones del sistema, así como el reconocimiento de alarmas desde la central de control de la planta, en cualquier momento y bajo condiciones climáticas que dificulten el traslado del personal de planta hacia los tableros de control.

Implementar un sistema SCADA web en el servidor central de la planta conforme a la proyección desarrollada. Esto brindaría a los operadores y supervisores

de la planta acceder al proceso en caso de no estar presentes en la misma. Cabe destacar que el acceso vial a las instalaciones de la planta es restringido una vez que ocurren fuertes precipitaciones, algo que sucede con frecuencia en la temporada de lluvias en el estado Anzoátegui. Frente a este tipo de circunstancias, el acceso desde internet al proceso de la planta permitiría a los operadores realizar los ajustes y configuraciones que sean necesarias sobre el sistema automatizado de dosificación de químico coagulante y químico floculante.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Universidad de los Andes. *Tratamiento de aguas blancas* [en línea]. <http://webdelprofesor.ula.ve/ingenieria/yoanacastillo/materias/agua/tratamiento_de_aguas_blancas.pdf> [Consulta 2012]
- [2] Universidad Tecnológica Nacional de Buenos Aires. *Coagulación y Floculación* [en línea]. <<http://www.frm.utn.edu.ar/archivos/civil/Sanitaria/Coagulaci%C3%B3n%20y%20Floculaci%C3%B3n%20del%20Agua%20Potable.pdf>> [Consulta 2012]
- [3] Rigola L., Miguel. *Tratamiento de aguas industriales: Aguas de Proceso y Aguas Residuales*, (Libro).--Barcelona: España: Ed. Marcombo, 1990, p.27-31
- [4] Galvis R, Manuel. *Coagulantes naturales de origen vegetal*, [en línea]. <<http://www.monografias.com/trabajos85/coagulantes-naturales-origen-vegetal/coagulantes-naturales-origen-vegetal.shtml>> [Consulta: 2012].
- [5] Universidad de Castilla La Mancha. *Coagulación-Floculación* [en línea]. <http://www3.uclm.es/profesorado/giq/contenido/dis_procesos/tema5.pdf> [Consulta 2012]
- [6] Unitek. *Parámetros Físico-Químicos del Agua* [en línea]. <http://www.unitek.com.ar/productos-osmosis-inversa.php?id_lib_tecnica=6> [Consulta 2012]
- [7] Universidad Autónoma de Madrid. *Coloides* [en línea]. <http://www.uam.es/personal_pdi/ciencias/evelasco/Coloides.pdf> [Consulta 2012]
- [8] Esacademic, *Nefelometría (Nefelómetro)* [en línea]. <http://www.esacademic.com/dic.nsf/es_mediclopedia/43958/nefel%C3%B3metro> [Consulta: 2012]
- [9] Chauncey W., Anderson. *Techniques of Water-Resources Investigations - Turbidity. Chapter A6.7 (v 2.1)*, (Libro).--Estados Unidos: U.S. Geological Survey Techniques and Methods, 2005, p3, 6-9.
- [10] Creus S., Antonio. *Instrumentación Industrial*, (Libro).--Barcelona: España: Ed. Marcombo, 1997, p.104-107, 568.

- [11] GACETA OFICIAL 36.395. *Normas de Calidad del Agua Potable*.-- Caracas: 1998. Ministerio del Ambiente.
- [12] Instituto Geológico y Minero de España. *Teoría de la Medición de Caudales y Volúmenes de Agua e Instrumental Necesario Disponible en el Mercado* [en línea]. <http://aguas.igme.es/igme/publica/libros2_TH/art2/pdf/teoria.pdf> [Consulta 2012]
- [13] Wikipedia. *Principio de Bernoulli*. [en línea]. <http://es.wikipedia.org/wiki/Principio_de_Bernoulli>. [Consulta: 2012].
- [14] Pulsatron. *Bombas Dosificadoras Electrónicas - Principio de Funcionamiento* [en línea]. <<http://www.pulsatron.com/downloads/pdf/Pulsatron-Generic-IOM-SP.PDF>>. [Consulta 2012]
- [15] Grundfos. *Bombas de dosificación* [en línea]. <http://www.cbs.grundfos.com/BGE_Spain/lexica/LIT_Dosing_pumps.html>. [Consulta 2012]
- [16] Universidad Pedagógica Nacional Francisco Morazán. *Elementos electromecánicos* [en línea]. <<http://www.upnfm.edu.hn/bibliod/images/stories/tindustrial/libros%20de%20electricidad/Controles%20Electromecanicos/elementos%20electromecanicos.pdf>> [Consulta 2012]
- [17] WEG. *Relés Programables* [en línea]. <<http://www.weg.net/ve/Productos-y-Servicios/Drives/Automatizacion-de-Procesos-Industriales/Reles-Programables>>. [Consulta 2012]
- [18] Bryan, L.A.; Bryan, E.A. *Programmable Controllers: Theory and Implementation*, (Libro).--Georgia: Estados Unidos: Ed. Industrial Text Company, 2007, p.4-6.
- [19] Opto 22. *What is a PAC* [en línea]. <<http://www.opto22.com/site/whatisapac.aspx>>. [Consulta 2012]
- [20] Smar. *Benefits of HART Protocol* [en línea]. <<http://www.smar.com/en/hart.asp>>. [Consulta 2012]
- [21] Universidad Central de Venezuela. *Redes de Comunicaciones Industriales*. [en línea]. <<http://neutron.ing.ucv.ve/revista-e/No4/RCI.html>> [Consulta 2012]
- [22] Siemens. *PROFIBUS* [en línea]. <http://www.automation.siemens.com/w2/efiles/pcs7/pdf/78/prdbrief/kb_profibus_es.pdf>. [Consulta 2012]

- [23] Pigan, Riamond; Metter, Mark. *Automating with PROFINET*, (Libro).--Berlin: Alemania: Ed. Publicis Publishing, 2008, p.18, 32,73-80.
- [24] Siemens. *PROFINET* [en línea]. < <http://www.industry.siemens.com/topics/global/en/safety-integrated/fail-safe-communication/profisafe/pages/profinet.aspx>>. [Consulta 2012]
- [25] Saervenca. *La norma IEC 60947-2* [en línea]. <<http://www.saervenca.com/descargas/uploads/Norma%20IEC%2060947-2.pdf>>. [Consulta 2012]
- [26] IEC 60204-1. *Safety of Machinery* [en línea]. <http://webstore.iec.ch/webstore/webstore.nsf/Artnum_PK/35098> [Consulta: 2012]
- [27] Schneider Electric. *Guía de Soluciones de Automatización* [en línea]. <<http://www.schneiderelectric.es/sites/spain/es/soporte/libreria-automatizacion-control/descarga/guia-soluciones.page>>. [Consulta 2012]
- [28] IEC 60445. *Basic and safety principles for man-machine interface, marking and identification of equipment terminals, conductor terminations and conductors* [en línea]. <http://webstore.iec.ch/Webstore/webstore.nsf/ArtNum_PK/44494?OpenDocument&mlref=JP> [Consulta: 2012]
- [29] IEC 60447. *Basic and safety principles for man-machine interface, marking and identification – Actuating principles* [en línea]. < http://webstore.iec.ch/preview/info_iec60447%7Bed3.0%7Db.pdf> [Consulta: 2012]
- [30] IEC 60417. *Graphical symbols for use on equipment* [en línea]. <<http://webstore.iec.ch/webstore/webstore.nsf/artnum/032168>> [Consulta: 2012]
- [31] IEC 60529. *Degrees of Protection Provided by Enclosures (IP Code)* [en línea]. <<http://www.nema.org/Standards/ComplimentaryDocuments/ANSI-IEC-60529.pdf>> [Consulta: 2012]
- [32] FONDONORMA 200:2009. *Código Eléctrico Nacional*.-- Caracas: CODELECTRA.
- [33] COVENIN 540:1998. *Grados de protección proporcionados por las cajas envolventes (Cajas y Gabinetes) utilizadas en media y baja tensión (Código IP)*.-- Caracas: CODELECTRA.

BIBLIOGRAFÍA

- La Guía MetAs. *Medición de Turbidez en la Calidad del Agua*.-- Jalisco: México, 2010, p. 2-5.
- Arboleda, J.V. *Teoría de la Coagulación del Agua*.-- Colombia, 1992, p. 36.
- Orellana, Jorge A. *Tratamiento de las Aguas*.-- Rosario: Argentina, 2005, p. 26.
- Técnica de Fluidos. *Tratamiento de Aguas y Medioambiente*.-- Barcelona: España, 2009, p. 6.
- ProMinent. *Bombas de dosificación, componentes y sistemas de dosificación*.-- Heidelberg: Alemania, 2010, p. 130.
- GrundFos. *Bombas dosificadoras, medición, control y sistemas de desinfección*.-- Madrid: España, 2012, p. 14.
- Endress+Hauser. *Experiencia en el análisis de líquidos*.-- Santiago de Chile: Chile, 2012, p. 25.
- Tejada M., Guillermo. *Tutorial de FieldBus*.-- Lima: Perú, 1998, p. 30.
- Gaceta Oficial de la República de Venezuela N°36.395. *Normas Sanitarias de Calidad del Agua Potable*.-- Caracas: Venezuela, 1995.
- Phercab. *Tabla de Características de Protección IP*.-- Madrid: España, 2010, p. 2.
- Trathal. *Bombas dosificadoras tipo solenoide*.-- Caracas: Venezuela, 2008, p. 7.
- Rosado, Alfredo. *PC Industriales*.-- Valladolid: España, 2003, p. 4.
- Universidad Nacional de la Plata. *Historia de los PLCs*.-- Buenos Aires: Argentina, fecha de publicación desconocida, p. 14.
- Universidad de Valencia. *Introducción a Profibus*.-- Valencia: España, fecha de publicación desconocida, p. 2.
- Domingo P., Joan. *Comunicaciones en el Entorno Industrial*.-- Aragón: España, 2003, p. 288.

Mandin, Christophe. *Windows Server 2003: Instalación, Configuración y Administración*.-- Barcelona: España, 2003, p77-83, 182-186.

Medina, Ramón. *Controladores Programables - Redes de Campo* (Presentación).-- Caracas: Venezuela, 2010.

García G., Luis. *Teoría de la medición de caudales y volúmenes de agua e instrumental necesario disponible en el mercado*.-- Madrid: España, 2006, p. 23.

Parallax Inc. *Control Industrial: Guía del Estudiante*.-- Estados Unidos, fecha de publicación desconocida, p. 32.

Quirós M., Jorge. *Introducción a los sistemas de control supervisor y adquisición de datos (SCADA)*.-- Costa Rica, 2004, p. 11.

Castro L., Carlos. *Introducción a SCADA*, (Presentación).-- Andalucía: España, fecha de publicación desconocida.

Wonderware. *Archestra Web Exporter Guide*.-- Lake Forest: Estados Unidos, 2009, p. 39.

Wonderware. *SIDirect DAServer Guide*.-- Lake Forest: Estados Unidos, 2006, p. 39.

Wonderware. *Working with Roles in Wonderware Information Server - Tech Note 724*.-- Lake Forest: Estados Unidos, 2010, p. 2.

Wonderware. *TechTip: Granting Users Rights to the Administration Link in Wonderware Information Server*, (Presentación).-- Lake Forest: Estados Unidos, fecha de publicación desconocida.

GLOSARIO

Agua cruda: Es el término empleado para las aguas naturales, industriales o residuales sin ningún tipo de tratamiento.

Active Factory: Aplicación utilizada en los sistemas operativos Windows Server que permite la administración de usuarios y grupos de usuarios que pertenezcan al dominio del servidor. De esta forma se administra la seguridad de ingreso al servidor.

Flóculo: Elemento formado por la aglomeración de las partículas suspendidas en el agua, provocado por la reacción del químico coagulante y el químico floculante aplicado.

Internet Information Server: Administrador de puertos y derechos de publicación en sistemas operativos Windows de tipo servidor.

SharePoint Server: Aplicación utilizada en los sistemas operativos Windows Server para la administración de las páginas web publicadas en el servidor.

Stroke: Se refiere al término utilizado para identificar la perilla encargada de modificar la cavidad interna de una bomba de dosificación. Con dicha perilla se controla la cantidad de fluido que entra y sale de la bomba.

Tags: Término utilizado en programación para la identificación de registros utilizados. Permite direccionar acciones hacia los registros mediante la referencia de los *tags* que los identifica.

Wonderware Information Server: Paquete de software utilizado para la publicación web de sistemas de supervisión y control diseñados con Wonderware InTouch. Permite el acceso a dicho sistema desde cualquier dispositivo con conexión a Internet.

[ANEXOS]

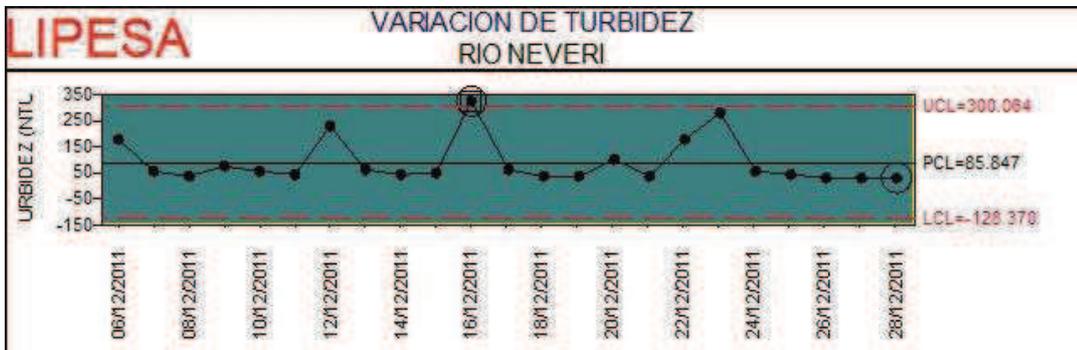
	Pág.
[ANEXOS]	1
[ANEXO 1]	2
[ANEXO 2]	7
[ANEXO 2(a)]	8
[ANEXO 2(b)]	9
[ANEXO 3]	10
[ANEXO 4]	17
[ANEXO 5]	20
[ANEXO 6]	21
[ANEXO 7]	27
[ANEXO 8]	28
[ANEXO 9]	30

[ANEXO 1]

Históricos suministrados por el cliente final

En el siguiente anexo se presentan los históricos de registros de turbidez de agua cruda, turbidez del agua presente en cada uno de los 4 precipitadores que posee la planta para realizar el proceso de sedimentación y además, se muestra los registros de turbidez de agua precipitada. Las siguientes gráficas fueron construidas por los operadores de LIPESA S.A. el mes de diciembre del año 2011, las muestras presentadas los siguientes gráficos son resultado del valor promedio de 10 muestras diarias de turbidez.

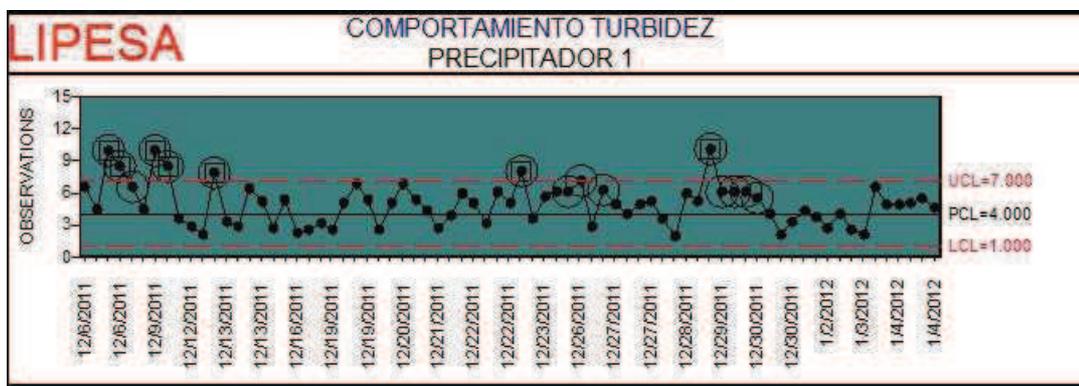
Turbidez de agua del río Neverí:



En dicho gráfico se puede observar que la turbidez promedio fue de 85 NTU aproximadamente, siendo este un valor bajo y conveniente para realizar la primera etapa de tratamiento por inyección de químicos. De igual forma se puede observar mediados del mes de diciembre la turbidez superó los 300 NTU, lo que debió conllevar a un aumento de la dosis de químicos por parte de los operadores.

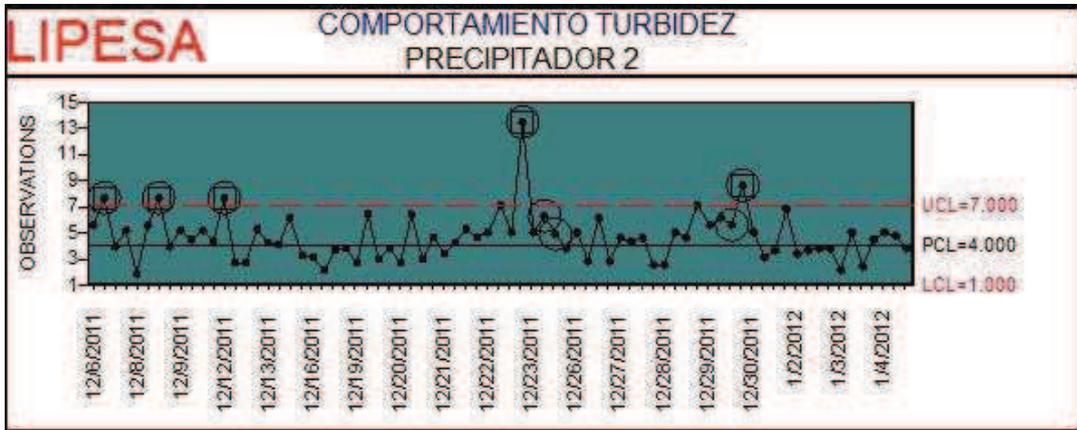
A continuación se presentan los registros de turbidez del agua presente en cada uno de los cuatro (4) precipitadores con los que cuenta la planta. Cabe recordar que el agua que se encuentra en cada uno de los precipitadores es dirigida hacia el tanque de agua precipitada, por ende el resultado de turbidez de dicha agua, proviene de la turbidez presente en cada uno de los precipitadores.

Turbidez de agua del precipitador 1:



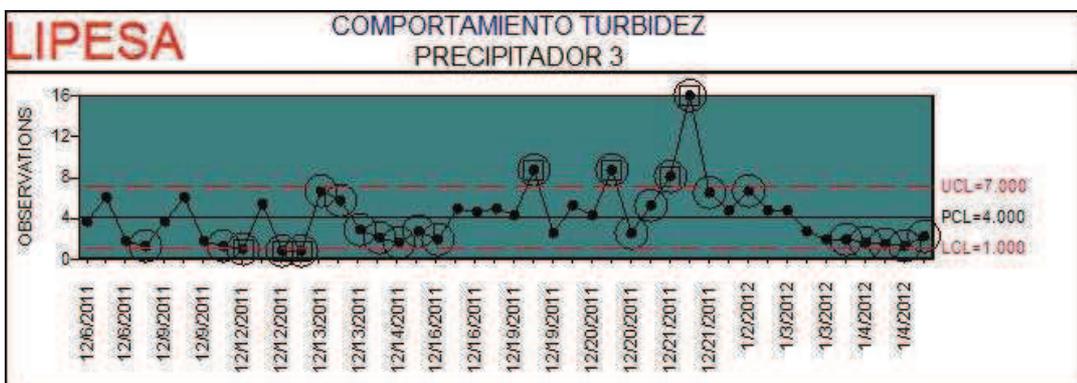
Para el mes de diciembre de 2011 la turbidez en el agua presente en el precipitador 1, estuvo en un rango comprendido entre 1 NTU a 12 NTU con un valor promedio de 4 NTU durante el mes. Los días comprendidos entre el 6 y 9 de diciembre se registraron ascensos y descensos bruscos de la turbidez comprendidos entre 7 NTU y 12 NTU, las variaciones registradas son producto de la dosificación manual aceptable pero no óptima de químicos. A partir del 10 diciembre se ve reflejada la reducción de dicha turbidez, la cual alcanzó un valor aproximado a 2 NTU, esta reducción se debió al procedimiento de purga de lodo aplicado en el precipitador. En los días comprendidos entre el 13 de diciembre y 23 de diciembre se observa un una ascenso y descenso de la turbidez en dicho precipitador llevado a cabo por los operadores de la planta mediante la dosificación manual de químicos. El mismo comportamiento puede ser observado del 29 al 30 de diciembre de 2011.

Turbidez de agua del precipitador 2:



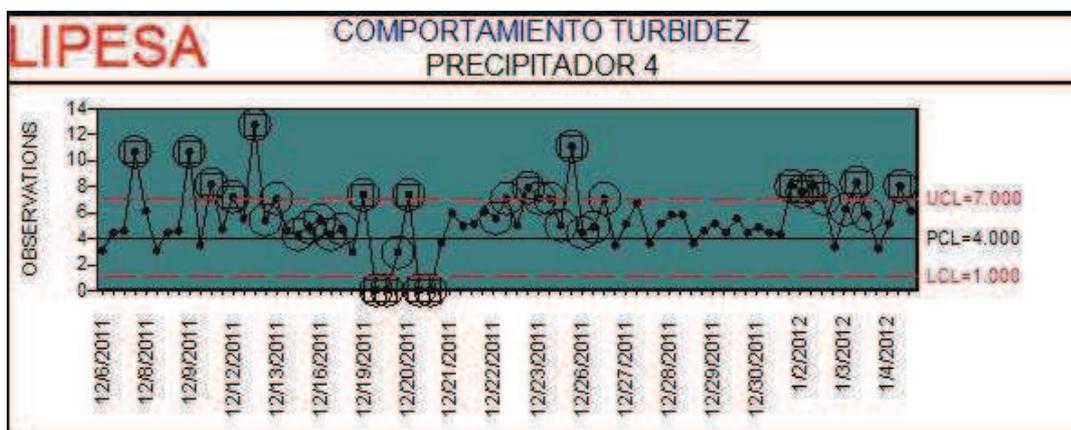
En este precipitador se puede observar un comportamiento de la turbidez más continuo que el presentado en el precipitador 1. Aunque cabe destacar que el rango de turbidez registrado está entre 1 NTU y 15 NTU. El valor promedio de 15 NTU puede apreciarse el día 23 de diciembre de 2011, provocado por acumulación de lodo en las paredes y fondo del precipitador, lo que conllevó a procedimiento de purga del mismo. El resto del mes de diciembre y a comienzos de enero de 2012 se registraron valores de turbidez dentro del rango manejado por los operadores de la planta.

Turbidez de agua del precipitador 3:



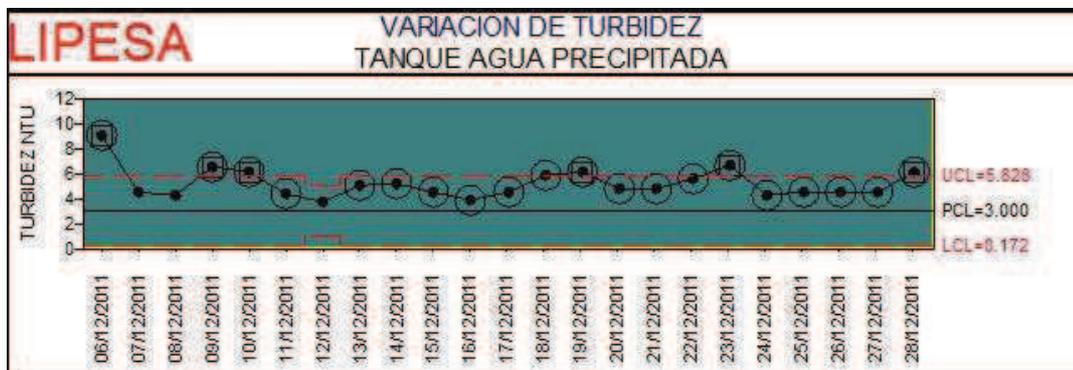
El precipitador 3 presentó variaciones de bajo rango de turbidez entre el 6 y el 20 de diciembre, donde el valor promedio de turbidez registrada durante estos días es de 4 NTU. A partir del 20 de diciembre se puede observar un aumento en la turbidez llegando a un pico de 16 NTU registrado el día 21 de diciembre. Según los operadores de la planta este precipitador, para el momento del estudio, había tenido un mantenimiento completo, esto se ve reflejado en los bajos valores de turbidez registrados en el agua presente en dicho precipitador.

Turbidez de agua del precipitador 4:



Se puede observar variaciones notables en la turbidez de este precipitadores, esto dado a que el agua proviene de una línea de entrada diferente a la línea de entrada a los otros tres (3) precipitadores. Por tanto se maneja distintos niveles de caudal de agua de entrada a dicho precipitador, esto trae como consecuencia variaciones en la cantidad de dosis de químico a inyectar y por ende se observa la complejidad de mantener la turbidez del agua en un rango óptimo mediante la dosificación manual de químicos.

Turbidez de agua del tanque de agua precipitada:



En el registro anterior se puede observar que el valor máximo de turbidez de agua precipitada previo la automatización es de 9 NTU y el promedio de registrado es de 5,828 NTU. El comportamiento fluido de las variaciones de turbidez es debido a que para el momento en que el agua es dirigida hacia el tanque de agua precipitada, ya ha pasado por el proceso de sedimentación de las flóculos en cada uno de los cuatro precipitadores (4). Por ende la turbidez registrada no presenta cambios bruscos en forma de picos registrados por los operadores. El usuario final, al momento de hacer los requerimientos para el sistema automatizado de dosificación de químicos, entregó un rango de valores de turbidez de agua precipitada manejado por ellos. En éste gráfico se puede observar la variación de turbidez de agua precipitada previa la automatización.

[ANEXO 2]

Hojas de especificaciones técnicas

[ANEXO 2(a)]

Elementos de control

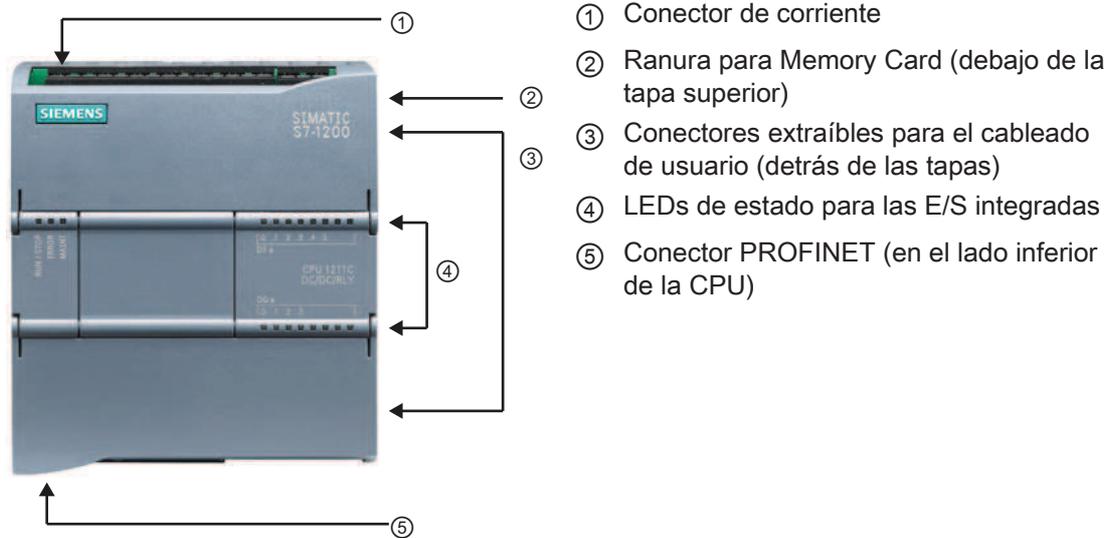


Tabla 1- 1 Comparación de los modelos de CPU

Función		CPU 1211C	CPU 1212C	CPU 1214C
Dimensiones físicas (mm)		90 x 100 x 75	90 x 100 x 75	110 x 100 x 75
Memoria de usuario	Trabajo	25 KB	25 KB	50 KB
	Carga	1 MB	1 MB	2 MB
	Remanente	2 KB	2 KB	2 KB
E/S integradas locales	Digital	6 entradas/4 salidas	8 entradas/6 salidas	14 entradas/10 salidas
	Analógico	2 entradas	2 entradas	2 entradas
Tamaño de la memoria imagen de proceso	Entradas (I)	1024 bytes	1024 bytes	1024 bytes
	Salidas (Q)	1024 bytes	1024 bytes	1024 bytes
Área de marcas (M)		4096 bytes	4096 bytes	8192 bytes
Ampliación con módulo de señales (SM)		Ninguna	2	8
Signal Board (SB) o placa de comunicación (CB)		1	1	1
Módulo de comunicación (CM) (ampliación en el lado izquierdo)		3	3	3
Contadores rápidos	Total	3	4	6
	Fase simple	3 a 100 kHz	3 a 100 kHz 1 a 30 kHz	3 a 100 kHz 3 a 30 kHz
	Fase en cuadratura	3 a 80 kHz	3 a 80 kHz 1 a 20 kHz	3 a 80 kHz 3 a 20 kHz
Generadores de impulsos ¹		2	2	2
Memory Card		SIMATIC Memory Card (opcional)		
Tiempo de respaldo del reloj de tiempo real		Típico: 10 días / Mínimo: 6 días a 40 °C		

Función	CPU 1211C	CPU 1212C	CPU 1214C
PROFINET	1 puerto de comunicación Ethernet		
Velocidad de ejecución de funciones matemáticas con números reales	18 µs/instrucción		
Velocidad de ejecución booleana	0,1 µs/instrucción		

¹ Para modelos de CPU con salidas de relé, se debe instalar una Signal Board (SB) digital para emplear los generadores de impulsos.

Los diferentes modelos de CPUs ofrecen una gran variedad de funciones y prestaciones que permiten crear soluciones efectivas destinadas a numerosas aplicaciones. Para más información sobre una CPU en particular, consulte los datos técnicos (Página 207).

Tabla 1- 2 Bloques, temporizadores y contadores que soporta el S7-1200

Elemento	Descripción		
Bloques	Tipo	OB, FB, FC, DB	
	Tamaño	25 KB (CPU 1211C y CPU 1212C) 50 KB (CPU 1214C)	
	Cantidad	Un total de hasta 1024 bloques (OBs + FBs + FCs + DBs)	
	Rango de direcciones para FBs, FCs y DBs	de 1 a 65535 (p. ej. del FB 1 al FB 65535)	
	Profundidad de anidamiento	16 del OB de arranque o de ciclo; 4 del OB de alarma de retardo, alarma horaria, alarma cíclica, alarma de proceso, alarma de error de tiempo o alarma de diagnóstico	
	Observar	Se puede observar a la vez el estado de 2 bloques lógicos	
OBs	Ciclo del programa	Múltiple: OB 1, del OB 200 al OB 65535	
	Arranque	Múltiple: OB 100, de OB 200 a OB 65535	
	Alarmas de retardo y alarmas cíclicas	4 ¹ (1 por evento): de OB 200 a OB 65535	
	Alarmas de proceso (flancos y HSC)	50 (1 por evento): de OB 200 a OB 65535	
	Alarmas de error de tiempo	1: OB 80	
	Alarmas de error de diagnóstico	1: OB 82	
Temporizadores	Tipo	CEI	
	Cantidad	Sólo limitada por el tamaño de la memoria	
	Almacenamiento	Estructura en DB, 16 bytes por temporizador	
Contadores	Tipo	CEI	
	Cantidad	Sólo limitada por el tamaño de la memoria	
	Almacenamiento	Estructura en DB, tamaño dependiente del tipo de contaje	
		• SInt, USInt: 3 bytes	
• Int, UInt: 6 bytes			
• DInt, UDInt: 12 bytes			

¹ Las alarmas de retardo y cíclicas usan los mismos recursos en la CPU. Sólo se puede contar con un total máximo de 4 de estas alarmas (suma de alarmas de retardo y cíclicas). No puede haber 4 alarmas de retardo y 4 alarmas cíclicas.

3.6 Datos técnicos

Datos técnicos del CSM 1277

Conexiones	
Conexión de terminales o componentes de las red a través de Twisted Pair	4 conectores hembra RJ45 con ocupación MDI-X para 10/100 Mbit/s (semidúplex, dúplex), sin potencial
Conexión para alimentación de tensión	Bloque de bornes de 3 contactos, enchufable
Datos eléctricos	
Tensión de alimentación	Alimentación de DC 24 V (límite: 19,2 hasta 28,8 V) Baja tensión de seguridad (SELV) Tierra funcional
Potencia perdida con DC 24 V	1,6 W
Consumo de corriente con tensión nominal	70 mA
Protección contra sobreintensidad en la entrada	PTC Resetable Fuse (0,5 A / 60 V)
Longitudes de cables permitidas	
Conexión a través de cables Industrial Ethernet FC TP 0 – 100 m	Industrial Ethernet FC TP Standard Cable con IE FC RJ45 Plug 180 o a través de Industrial Ethernet FC Outlet RJ45 con 0 - 90 m Industrial Ethernet FC TP Standard Cable + 10 m TP Cord
0 – 85 m	
	Industrial Ethernet FC TPMarine/Trailing Cable con IE FC RJ45 Plug 180 o 0 - 75 m Industrial Ethernet FC TP Marine/Trailing Cable + 10 m TP Cord
learnable MAC addresses / Aging Time	
learnable MAC addresses	2048
Aging Time	280 segundos

Condiciones ambientales admisibles	
Temperatura en funcionamiento	0°C hasta +60°C
Temperatura en almacén/transporte	-40°C hasta +70°C
Humedad relativa en funcionamiento	< 95% (sin condensación)
Altura en funcionamiento	2000 m a como máx. 56 °C de temperatura ambiente 3000 m a como máx. 50 °C de temperatura ambiente
Inmunidad a interferencias	EN 61000-6-2
Emisión de interferencias	EN 61000-6-4
Clase de protección	IP 20

Condiciones ambientales admisibles	
MTBF	
MTBF	273 años
Construcción	
Medidas (An x Al x Prof) en mm	45 x 100 x 76
Peso en g	150
Posibilidades de montaje	Riel de perfil de sombrero DIN de 35 mm (DIN EN 60715 TH35)

Números de referencia	
CSM 1277	6GK7277-1AA10-0AA0
Manual "Industrial Ethernet - Redes TP y de Fibra Óptica"	6GK1970-1BA10-0AA0
TP Cord RJ45/RJ45, 0,5 m	6XV1870-3QE50
TP Cord RJ45/RJ45, 1 m	6XV1870-3QH10
TP Cord RJ45/RJ45, 2 m	6XV1870-3QH20
TP Cord RJ45/RJ45, 6 m	6XV1870-3QH60
TP Cord RJ45/RJ45, 10 m	6XV1870-3QN10
IE FC Stripping Tool	6GK1901-1GA00
IE FC Blade Cassettes	6GK1901-1GB00
IE FC TP Standard Cable	6XV1840 2AH10
IE FC TP Trailing Cable	6XV1840-3AH10
IE FC TP Marine Cable	6XV1840-4AH10
IE FC RJ45 Plug 180 Unidad de embalaje = 1 pieza	6GK1 901-1BB10-2AA0
IE FC RJ45 Plug 180 Unidad de embalaje = 10 piezas	6GK1 901-1BB10-2AB0
IE FC RJ45 Plug 180 Unidad de embalaje = 50 piezas	6GK1 901-1BB10-2AE0

Nota

La cantidad de Switches conectados influye en el tiempo de paso de los telegramas.

Cuando un telegrama pasa por el CSM 1277, es retardado por la función Store&Forward del Switch

- para una longitud del telegrama de 64 Byte, el retraso es de unos 8 μ s (con 100 Mbit/s)
- para una longitud del telegrama de 1500 Byte, el retraso es de unos 125 μ s (con 100 Mbit/s)

Esto significa que cuantos más Switches CSM 1277 se atraviesen, más largo será el tiempo de paso de los telegramas.

SIMATIC S7-1200

Módulos analógicos

Módulo de E/S analógicas SM 1234

Sinopsis



- Entradas y salidas analógicas para SIMATIC S7-1200
- Con tiempos de conversión extremadamente cortos
- Para la conexión de sensores y actuadores analógicos sin amplificadores adicionales
- Para la solución de tareas de automatización más complejas

Gama de aplicación

Los módulos de entradas/salidas analógicas SM 1234 ofrecen la posibilidad de utilizar entradas/salidas analógicas.

Esto otorga al usuario las siguientes ventajas:

- Adaptación óptima:
Con módulos de ampliación analógicos y digitales, el usuario puede adaptar su controlador de forma óptima incluso a las tareas más complejas.
- Conexión directa de sensores y actuadores:
Hasta 14 bits de resolución más signo y diferentes rangos de entrada/salida permiten la conexión de sensores y actuadores sin amplificadores adicionales.
- Flexibilidad:
En caso de ampliar posteriormente la tarea, el controlador se puede actualizar. Entonces, la corrección del programa de usuario resulta sumamente sencilla.

Diseño

Los módulos de entradas/salidas analógicas Signal Module SM 1234 presentan las mismas características de diseño que los equipos básicos.

- Fijación sobre perfil normalizado:
Los módulos se abrochan sobre el perfil a la derecha de la CPU; la conexión eléctrica y mecánica con los otros módulos y con la CPU se establece con el mecanismo deslizante integrado.
- Fijación directa:
Montaje vertical u horizontal en perfil soporte normalizado o fijación directa al armario mediante orificios de montaje integrados.

Funciones

Los módulos de entradas/salidas analógicas Signal Module SM 1234

- transforman las señales analógicas del proceso en señales digitales para su procesamiento dentro de SIMATIC S7-1200,
- transforman las señales digitales de SIMATIC S7-1200 en señales para controlar el proceso respectivo.

Datos técnicos

6ES7 234-4HE30-0XB0	
Nombre del producto	SM 1234 AI 4 x 13 bit AQ 2 x 14 bit
Tensiones de alimentación	
Valor nominal	
• 24 V DC	Sí
Consumo	
Consumo, típ.	60 mA
del bus de fondo, 5 V DC, típ.	80 mA
Consumo/pérdidas	
Pérdidas, típ.	2 W
Sistema de conexión	
Conector frontal necesario	Sí
Entradas analógicas	
Número de entradas analógicas	4; intensidad o tensión entradas diferenciales
Tensión de entrada admisible para entrada de intensidad (límite de destrucción), máx.	± 35 V
Intensidad de entrada admisible para entrada de tensión (límite de destrucción), máx.	40 mA
Tiempo de ciclo (todos los canales), máx.	625 µs
Rangos de entrada	
• Tensión	Sí; ± 10 V, ± 5 V, ± 2,5 V
• Intensidad	Sí; 0 ... 20 mA
Rangos de entrada (valores nominales), tensiones	
• -10 ... +10 V	Sí
• Resistencia de entrada (-10 ... +10 V)	≥ 9 Mohmios
• -2,5 ... +2,5 V	Sí
• Resistencia de entrada (-2,5 ... +2,5 V)	≥ 9 Mohmios
• -5 ... +5 V	Sí
• Resistencia de entrada (-5 ... +5 V)	≥ 9 Mohmios
Rangos de entrada (valores nominales), intensidades	
• 0 ... 20 mA	Sí
• Resistencia de entrada (0 ... 20 mA)	≥ 250 ohmios
Rangos de entrada (valores nominales), termómetro de resistencia	
Entrada de tensión	
• Tensión de entrada admisible para entrada de tensión (límite de destrucción), máx.	35 V
Entrada de intensidad	
• Intensidad de entrada admisible para entrada de intensidad (límite de destrucción), máx.	40 mA
Compensación de temperatura	
• parametrizable	No

Datos técnicos (continuación)

6ES7 234-4HE30-0XB0	
Nombre del producto	SM 1234 AI 4 x 13 bit AQ 2 x 14 bit
Salidas analógicas	
Número de salidas analógicas	2; intensidad o tensión
Rangos de salida, tensión	
• -10 ... +10 V	Sí
Rangos de salida, intensidad	
• 0 ... 20 mA	Sí
Conexión de los actuadores	
• para salidas de intensidad, conexión a 4 hilos	
Resistencia de carga (en área nominal de la salida)	
• para salidas de tensión, mín.	1000 ohmios
• para salidas de intensidad, máx.	600 ohmios
Formación de valores analógicos	
Principio de medición	Diferencial
Tiempo de integración y de conversión/resolución por canal	
• Resolución (inclusive rango de rebase)	Tensión: 14 bits Intensidad: 13 bits
• Resolución con rango de rebase (bits más signo), máx.	12 bits; + signo
• Tiempo de integración parametrizable	Sí
• Supresión de tensiones perturbadoras para frecuencia parásita f1 en Hz	40 dB, hasta 60 V DC para frecuencia parásita de 50 / 60 Hz
Filtrado de valores medidos	
• parametrizable	Sí
• Nivel: Ninguno	Sí
• Nivel: débil	Sí
• Nivel: Media	Sí
• Nivel: fuerte	Sí
Error/precisión	
Error por temperatura (referido al rango de entrada)	25°C ± 0,1% hasta 55 °C ± 0,2% en todo el rango de medida
Error por temperatura (referido al rango de salida)	25 °C ± 0,3% hasta 55 °C ± 0,6% en todo el rango de medida
Límite de error básico (límite de error práctico a 25 °C)	
• Tensión, referida al rango de entrada	0,1 +/- %
• Intensidad, referida al rango de entrada	0,1 +/- %
• Tensión, referida al rango de salida	0,3 +/- %
• Intensidad, referida al rango de salida	0,3 +/- %
Supresión de frecuencias perturbadoras para f = n x (fl ± 1%), (fl = frecuencia perturbadora)	
• Tensión en modo común, máx.	12 V

6ES7 234-4HE30-0XB0	
Nombre del producto	SM 1234 AI 4 x 13 bit AQ 2 x 14 bit
Información de estado/ alarmas/diagnóstico	
Alarmas	
• Alarmas	Sí
• Alarma de diagnóstico	Sí
Diagnósticos	
• Funciones de diagnóstico	Sí
• Vigilancia de la tensión de alimentación de la electrónica	Sí
• Rotura de hilo	Sí
• Cortocircuito	Sí
LED señalizadores para diagnóstico	
• del estado de las entradas	Sí
• del estado de las salidas	Sí
• para fines de mantenimiento	Sí
Aislamiento galvánico	
Aislamiento galvánico salidas analógicas	
• Entre los canales y la alimentación de la electrónica	No
Condiciones climáticas y mecánicas para el almacenamiento y transporte	
Condiciones climáticas para el almacenamiento y transporte	
• Caída libre	
- altura de caída máx. (en el embalaje)	0,3 m; cinco veces, en el embalaje del envío
• Temperatura	
- rango de temperatura admisible	-40 °C ... +70 °C
• Presión atmosférica según IEC 60068-2-13	
- presión atmosférica admisible	1080 ... 660 hPa
• Humedad relativa	
- rango admisible (sin condensación) a 25 °C	95%
Condiciones mecánicas y climáticas durante el funcionamiento	
Condiciones climáticas durante el funcionamiento	
• Temperatura	
- rango de temperatura admisible	0° C ... 55° C montaje horizontal 0° C ... 45° C montaje vertical
• Presión atmosférica según IEC 60068-2-13	
- presión atmosférica admisible	1080 ... 795 hPa
• Grado de polución	
- SO ₂ para RH < 60% sin condensación	SO ₂ : < 0,5 ppm; H ₂ S: < 0,1 ppm; RH < 60% sin condensación

[ANEXO 2(b)]

Turbidímetros

Model A15/76 Turbidity Monitor Specifications

Range:	4/400 NTU (0-4.000, 0-40.00, 0-400.0) 40/4000 NTU (0-40.00, 0-400.0, 0-4000) 9/999 mg/l (or PPM) SiO ₂ (0-9.999, 0-99.99, 0-999.9) 99/9999 mg/l (or PPM) SiO ₂ (0-99.99, 0-999.9, 0-9999) Auto-ranging over 3 decades of concentration	Analog Output:	Isolated 4-20 mA, 600 ohm maximum load. Output range user set.
Accuracy:	± 5% of reading or ± 0.02 NTU, whichever is greater, on 40/400 scale ± 10% of reading or ± 2 NTU, whichever is greater, on 400/4000 scale	Operating Conditions:	-20° to +55° C., 0-95% R.H. non-condensing.
Linearity:	0.1% of F.S.	Power:	110/220 VAC ±10%, 50/60 Hz.
Display:	16 character alphanumeric backlit LCD	Enclosure:	Panel mount standard NEMA 4X wall mount optional (standard for Auto-Clean model)
Control Relays:	Two SPDT relays, 5A @ 220 VAC resistive. Programmable deadband and time delay.	Sensor Range:	0-4000 NTU
Control Mode:	On/Off	Measurement angle:	90-degree scatter (nephelometric)
Alarm Relay:	Independent SPDT relay, 5A @ 220 VAC resistive. Programmable for actuation on high/low values or control failure. Also indicates dry cell condition, fouled sensor, or high ambient light	Response Time:	95% in 10 seconds
		Sensor Power:	± 12 VDC supplied by monitor, pre-amplifier in sensor head
		Sensor Temp. Limit:	0 - 50° C.
		Sensor Pressure Limit:	0 - 100 PSIG
		Connections:	7-conductor sensor cable, 30 feet standard, 350 feet maximum
		Sensor Materials:	Delrin body, Acrylic optical windows
		Flowcell Materials:	PVC
		Flowcell Connections:	4 mm tube fittings (black tubing supplied)
		Flowcell Pressure:	0-100 PSIG
		Flowcell Temperature:	0-60° C

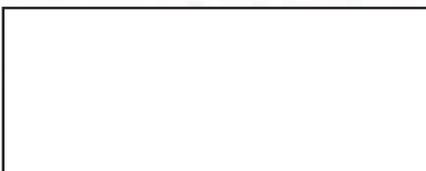
Ordering Information: Model A15/76 - A - B - C Turbidity Monitor Model D15/76 - E - F - G - H Auto-Clean Turbidity Monitor

Suffix A - Sensor Type	Suffix E - Enclosure
1 - IR LED	1 - Panel Mount
2 - White Light (US EPA)	2 - NEMA 4X Wall Mount
Suffix B - Enclosure	Suffix F - Sensor Type
1 - Panel Mount	1 - Submersible sensor
2 - NEMA 4X Wall Mount	Suffix G - Power
Suffix C - Sensor Type	1 - 120 VAC
1 - Submersible sensor	2 - 230 VAC
2 - Flow sensor with standard flowcell assembly	Suffix H - Enclosure Heater
	1 - None
	2 - Heater and thermostat

Options	
00-0930	Monitor pipe mounting bracket kit
00-0624	Submersion sensor swivel bracket assembly
31-0038	7 conductor interconnect cable sensor (300 ft. maximum)
00-0726	Junction box (for extended sensor cable)
45-0043	Auto-Clean senros mounting adaptor



Represented By:



Analytical Technology, Inc.
6 Iron Bridge Drive
Collegeville, PA 19426
Phone: 610/917-0991 • Toll-Free: 800/959-0299
Fax: 610/917-0992
E-Mail: sales@analyticaltechnology.com

Analytical Technology
Unit 1 and 2 Gatehead Business Park
Delph New Road, Delph
Saddleworth OL3 5DE
Phone: +44 (0) 1457 873 318
Fax: +44 (0) 1457 874 468
E-Mail: sales@atiuk.com



Level



Pressure



Flow



Temperature



Liquid
Analysis



Registration



Systems
Components



Services



Solutions

Technical Information

Turbimax CUE21 / CUE22

Turbidimeter for on-line measurement



Application

On-line continuous monitoring of clean water:

- Drinking water
- Treated process water

Your benefits

- Versions with white light source and infrared light source available
- Fast and easy calibration
 - Complete primary calibration in less than 5 minutes
 - Verification in seconds
- Reduced calibration costs and quick response times thanks to low volume sample chamber
- Automatic continuous ultrasonic cleaning (Autoclean) increases cleaning intervals dramatically
- Simple modular design
- Easy to use and service
- Affordable thanks to modular microprocessor based technology
- Digital high-speed connections through RS-485 with Modbus

Optional Features:

- Flow chamber for bubble suppression
- Reusable calibration kit

Function and system design

Measuring principle

Turbidity measurement

For turbidity measurement a light beam is sent through the medium and is diverted from its original direction by optically denser particles, e.g. solid matter particles.

Measuring methods

90° WL scattered light method

The measurement uses the standardised 90° scattered light method acc. to U.S. EPA 180.1. The turbidity of the medium is determined by the amount of scattered light. The transmitted white light beam is scattered by the solid matter particles in the medium. The scattered beams are detected by scattered light receivers which are arranged at an angle of 90° to the white light source.

90° NIR scattered light method

The measurement uses the standardized 90° scattered light method acc. to ISO 7027 / EN 27027. The turbidity of the medium is determined by the amount of scattered light. The transmitted light beam with a wavelength in the near-infrared range is scattered by the solid matter particles in the medium. The scattered beams are detected by scattered light receivers which are arranged at an angle of 90° to the infrared light source.



90° scattered light method

Functions

IR or white light measurement

The Turbimax is available as infrared version, CUE21, to meet the design criteria specified in ISO 7027 and DIN 27027. The white light version, CUE22, meets the design criteria on turbidity measurement specified by the US EPA 180.1. Both versions have long life lamps.

Backlit LCD

The backlit LCD allows for easy readability in low light or no light conditions. The backlight is intended for continuous operation. The brightness can be adjusted in a menu in the CONFIG mode.

Vapor purge

The Turbimax is equipped with a continuous vapor purge system. A replaceable desiccant pouch in the lower portion of the instrument dries the air. System heat is used to warm the air. A fan inside the instrument continuously circulates heated dry air around the optical well and the flow through cuvette. This eliminates the need for a dry purge line.

Alarms

The Turbimax provides two relays that are designed to operate as two independent, programmable alarms. The alarms can be configured to activate when the measured turbidity level is higher or lower than the programmed alarm level for a given period of time. The alarm function also allows to set delay times.

Ultrasonic cleaning

This option is used to continuously clean the flow through cuvette. It is not intended to clean already dirty cuvettes or to replace manual cleaning entirely. The system will increase the time between cleanings dramatically. Please note that the system requires the use of a special cuvette.

RS-485 outputs

Turbimax has the capability to operate in two different RS-485 modes, a simple communication mode and Modbus protocol communication.

- The simple communication mode provides communication over programs such as the HyperTerminal that is included with most Microsoft Windows packages. You can also use Visual Basic or other programs. The default communication parameters are 8 bits, no parity and 1 stop bit.
- Modbus protocol communication is available for all models. The Modbus information is covered in a separate manual.

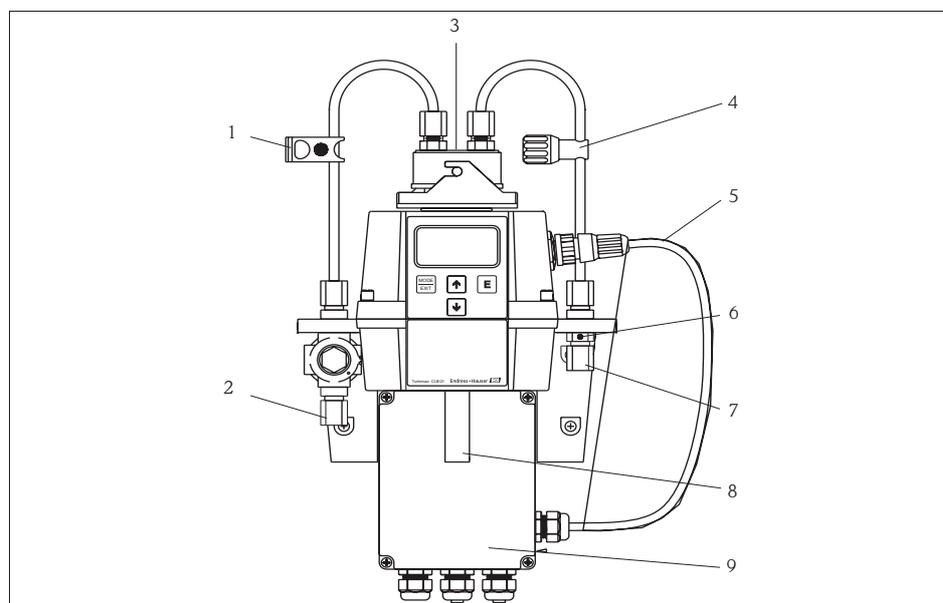
Flow controller

The flow controller limits the flow, in high-pressure systems, to safe flow limits of less than 1 liter/minute.

Measuring system

The Turbimax CUE21 / CUE22 measuring system comprises:

- Turbimax turbidimeter with installed cuvette and desiccant pouch
- Connecting tubing with
 - fittings for flow through assembly
 - shutoff clamp
 - backpressure valve
 - drain vent screw (in pressurized systems)
- Sensor interconnect cable



Turbimax CUE21 system (example)

- | | | | |
|---|---|---|--|
| 1 | Shutoff clamp | 6 | Drain vent |
| 2 | Intake tubing connection (for OD 8 mm (0.31"), ID 4.75 mm (0.19") tubing) | 7 | Drain tubing connection (for OD 8 mm (0.31"), ID 4.75 mm (0.19") tubing) |
| 3 | Flowhead | 8 | Emergency drain |
| 4 | Backpressure valve | 9 | Field terminal box |
| 5 | Sensor interconnect cable | | |

Input

Measured variables

Turbidity

Measuring range

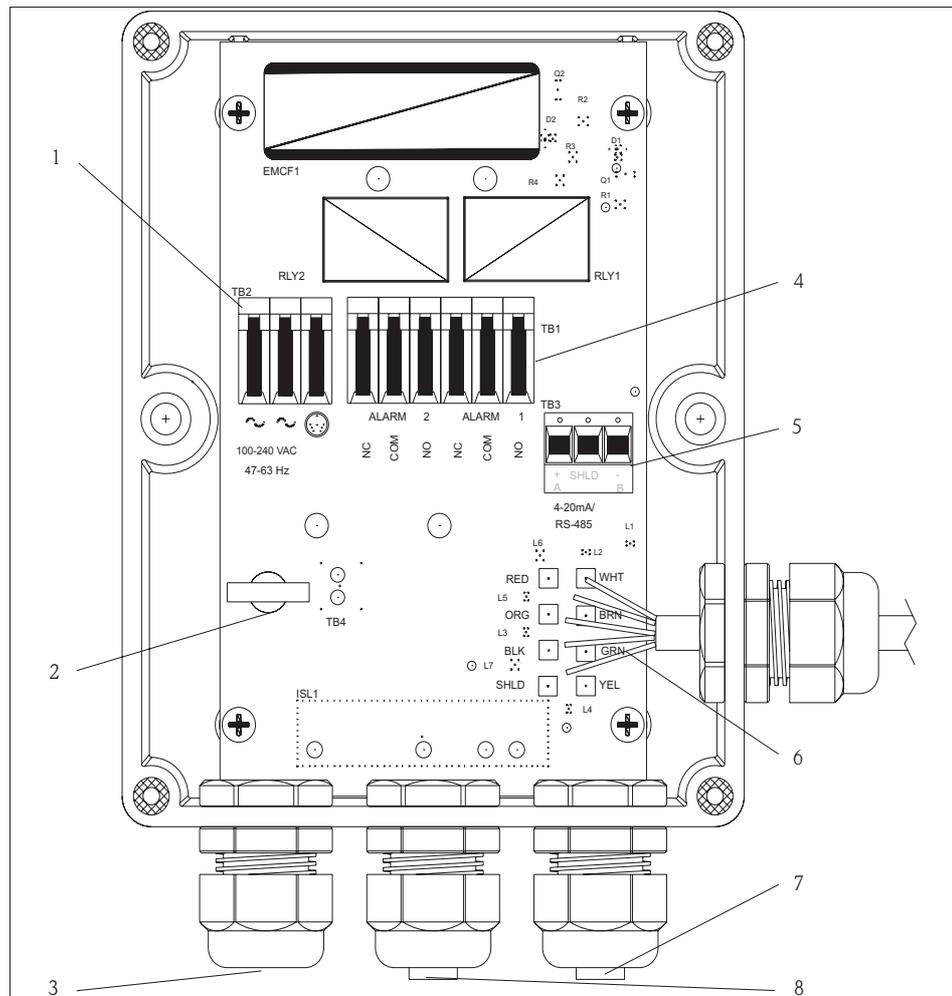
CUE21: 0 to 1000 NTU /FNU
CUE22: 0 to 100 NTU /FNU

Output

Output signal	4 to 20 mA, galvanically isolated	
Signal on alarm	2 mA in case of an error	
Load	max. 600 Ω	
Communications port	Bi-directional RS-485, Modbus optional	
Relays	Switching voltage:	max. 240 VAC
	Switching current:	max. 2 A
Limit value and alarm functions	Setpoint adjustment:	
	CUE21:	0 to 1000 NTU
	CUE22:	0 to 100 NTU
	Alarm delay:	0 to 30 s

Power supply

Electrical connection



Field terminal box

- | | | | |
|---|-----------------------------------|---|-----------------------------------|
| 1 | Power supply terminal block | 5 | 4 to 20 mA / RS485 terminal block |
| 2 | Power cable strain relief | 6 | Sensor wiring |
| 3 | Power cable gland | 7 | 4 to 20 mA / RS485 cable gland |
| 4 | Alarms terminal block, 240 VA, 2A | 8 | Alarm cable gland |

a0003464

Power supply

100 to 240 VAC, 47 to 63 Hz, 80 VA switching power supply

Performance characteristic

Response time

adjustable 1 to 100 % (approx. 5 to 500 seconds)
CUE21: 0 to 1000 NTU
CUE22: 0 to 100 NTU

Reference temperature

25°C (77°F)

Resolution

0.0001 NTU (below 10 NTU)

Maximum measured error

below 40 NTU: ±2 % of reading or ±0.02 NTU whichever is greater
above 40 NTU: ±5 % of reading

Repeatability

±1 % of reading

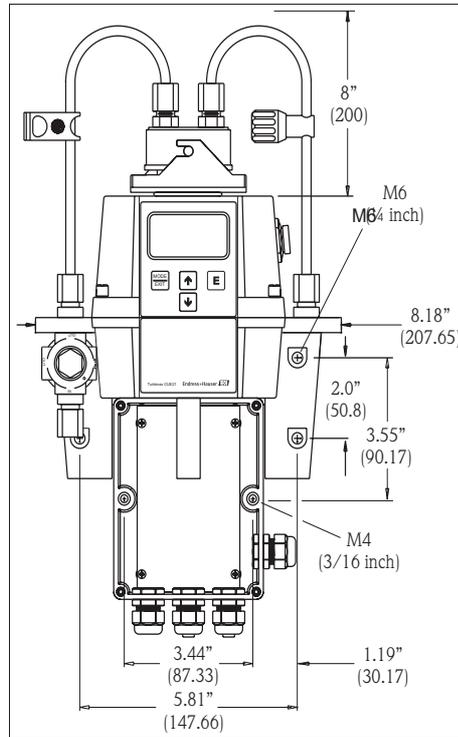
Installation

Wall mounting

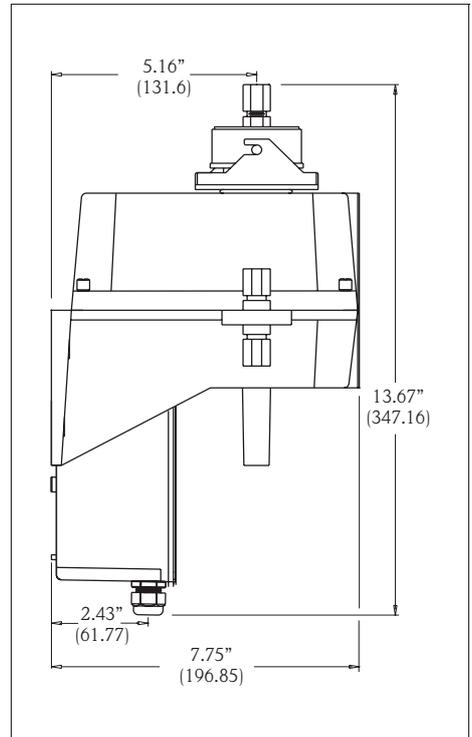
Turbimax CUE21 / CUE22 is recommended for indoor use.

When mounting the instrument note the following:

- Check that the temperature does not exceed the maximum permitted operating temperature range (0 to 50 °C (32 to 122 °F)).
- Leave a free area of approx. 0.20 m (8.00") above the instrument. This will ensure enough room for calibration and cuvette maintenance.
- Mount the instrument as close as possible to the sampling point to ensure a quick response time, within 2 to 3 m (6 to 10 ft).



Mounting dimensions front view



Mounting dimensions lateral view

Environment

Storage temperature	-20 to +60°C (-4 to +140°F)
Ingress protection	IP 66 / NEMA 4x
Insulation rating	Double insulated, pollution degree 2
Overvoltage protection	Category II
Relative humidity	max. 95%, non-condensing
Altitude	up to 2000 m

Process

Process temperature	1 to 50°C (34 to 122°F)
Medium temperature range	1 to 50°C (34 to 122°F)
Process pressure	max. 13.78 bar (200 psi) controlled by integral pressure regulator
Flow rate	0.1 to 1 liter/min. (0.026 to 0.26 US.gal/min.)

Mechanical construction

Dimensions	H x W x D: 347.16 x 207.65 x 196.85 mm (13.7" x 8.2" x 7.8")
Weight	2 kg (4.4 lbs.)
Materials	Housing: ABS Flow-through head: Nylon Sample cuvette: Borosilicate glass Sample cuvette seal: Silicon Flow-through fittings: Polypropylene Flow-through lock down pins: Stainless steel (AISI 304 or AISI 303) Inlet tube: Stainless steel (AISI 316)
Light source	Turbimax CUE21: Infrared LED, 860 nm Turbimax CUE22: White light Tungsten lamp, ~600 nm, 2250 °K

Wallace & Tiernan® Analytical Measurement TMS 561 Turbidimeter On-Line Process Turbidity Measurement

General Description

The TMS 561 turbidimeter is specifically designed for continuous on-line measurement of turbidity in filtered or raw water in municipal and industrial water treatment plants, final effluent in wastewater, and filter performance in the commercial aquatic applications. Utilizing an EPA-approved, reusable, primary standard, routine calibration is fast and inexpensive. For poor quality water, an ultrasonic, self-cleaning system is available to reduce maintenance. An optional data acquisition system and software package allows networking of up to 255 turbidimeters into a single computer. The software provides graphical trending, alarms, and filter analysis.

Features

The TMS 561 turbidimeter provides an economical, compact system for turbidity measurement in most water treatment applications. Available with either a white light or IR light source, it is ideally suited for reporting results under EPA and other international standards. Each TMS 561 turbidimeter offers these standard and optional features:

- Two automatic measurement ranges of 0-10 NTU and 10-1000 NTU (Nephelometric Turbidity Units).
- Three basic models to choose from to provide the correct instrument for a specific application.
- Compact design eliminates the need to mount multiple components for each turbidimeter. All of the electronics and operator controls are built into the measurement unit.

Key Benefits:

- User-friendly, menu-driven electronics are housed in a NEMA 4X / IP 56 enclosure.
- Interfacing with any control system via standard 4-20mA output, two configurable alarms or optional RS-485 digital system.
- Meets USEPA method 180.1 or ISO 7027 design and performance criteria.
- Optics are not in contact with the sample, reducing the chance of false low readings and eliminating the possibility of fouling the measurement detector.
- Removable sample cuvettes provide for cleaning and calibration without the need to disconnect piping or tubing.
- Convenient, EPA-approved, sealed calibration standards eliminate errors and simplify calibrating
- Networking of 255 turbidimeters with the optional data acquisition package.



Product Sheet

Water Technologies

SIEMENS

Technical Data

Model Selection: All models provided fully calibrated and include 4-20 mA output, desiccant, spare measuring cuvette with light shield, power supply, and instruction manual. Also, an optional flow alarm is available to provide indication of a loss of sample flow.

Model No.	RS-485	Backlight Display	Ultrasonic Cleaning	Range NTU
TMS 561 BW (white light)	Standard	Standard	N/A	0-1000
TMS 561 BR (infrared light)	Standard	Standard	N/A	0-1000
TMS 561 CW (white light)	Standard	Standard	Standard	0-100
TMS 561 CR (infrared light)	Standard	Standard	Standard	0-100
TMS 561 DW (white light)	Standard	Standard	Standard	0-1000
TMS 561 DR (infrared light)	Standard	Standard	Standard	0-1000

Measurement Range: 0-1000 NTU (Models BW, BR, DW & DR) 0-100 NTU (Models CW & CR)

Accuracy: $\pm 2\%$ of reading or ± 0.02 NTU below 40 NTU, whichever is greater $\pm 5\%$ of reading above 40 NTU

Resolution: 0.0001 NTU (below 10 NTU)

Response Time: Adjustable from 5 to 500 seconds

Display: Multi-line LCD back-lit display

Alarms: Two programmable high/low alarms, 120-240 VAC 2A Form C Relay

Analog Output: Powered 4-20 mA, 600 Ω drive, galvanically isolated

Communications Port: Bi-directional RS-485 with Modbus or W&T communication protocol

Light Source: White Light or Infrared (850nm)

Sample Flow Rate: 100 ml/min to 1 liter/min (0.026 to .26 gal/min)

Sample Pressure: 60 psi (4.1 bar) Maximum

Sample Connections: Intake and Drain tubing connections - 3/16"ID x 5/16"OD

Sample Flow Alarm: Optional, factory installed. Provides alarm indication in the event of a loss of sample flow.

Operating Temperature: 32°F to 122°F (0°C to 50°C)

Sample Temperature: 34°F to 122°F (1°C to 50°C)

Wetted Materials: Nylon, Borosilicate Glass, Silicon, Polypropylene, Stainless Steel

Power Requirements: 90-250 VAC, 47-63 Hz, 80VA

Enclosure Rating: NEMA 4X / IP 56

Environmental Conditions: Not recommended for outdoor use. Altitude up to 6560 ft. (2000 meters). Up to 95% RH (non-condensing)

Regulatory Compliance: White Light version compliant to U.S. EPA 180.1 Infrared version compliant to ISO 7027
Certifications: CE Approved, ETL listed to UL 3111-1. ETL Certified to CSA 22.2 No. 1010-1-92

Dimensions: 14" x 12" x 12" (35cm x 30cm x 30cm)
 See WT.050.610.101.UA.CN.

Typical Installation:
 See WT.050.610.200.UA,CN

Shipping Weight: 5.5 lbs (2.5 kg)

Siemens
Water Technologies

Germany
+49 8221 9040
wtger.water@siemens.com

United Kingdom
+44 1732 771777
wtuk.water@siemens.com

USA
+1 856 507 9000
wtus.water@siemens.com

© 2008 Siemens Water Technologies Corp.
Literature No.: WT.050.610.000.IE.PS.1108
Subject to change without prior notice.

Wallace & Tiernan, Chem-Ad, and PM Kit are trademarks of Siemens, its subsidiaries or affiliates. Hastelloy is a trademark of Haynes International, Inc. Isolast is a trademark of Trelleborg AB. NEMA is a trademark of the National Electrical Manufacturers Association. Viton is a trademark of DuPont Performance Elastomers LLC.

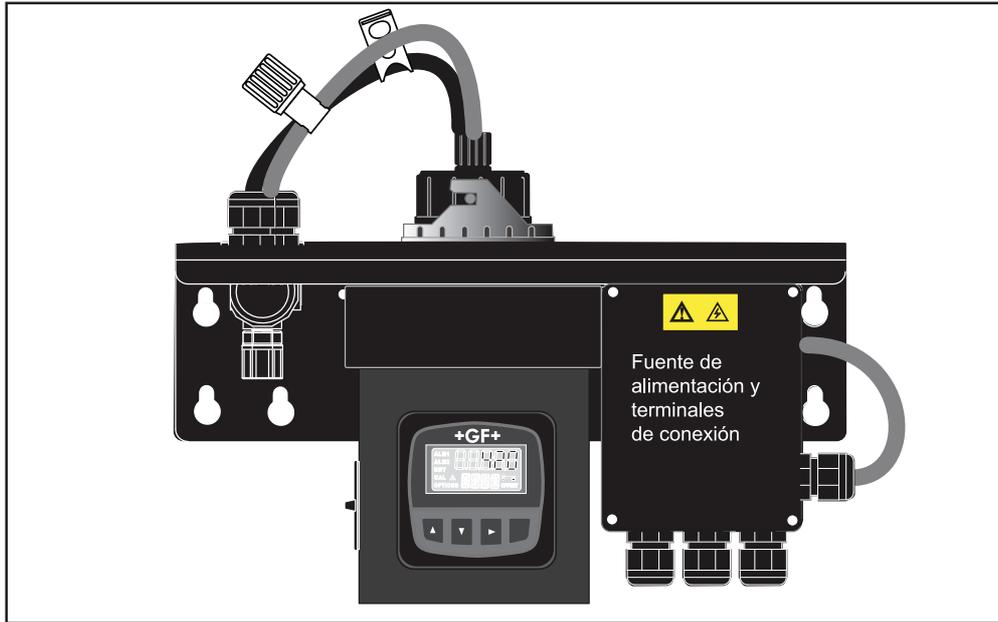
The information provided in this literature contains merely general descriptions or characteristics of performance which in actual case of use do not always apply as described or which may change as a result of further development of the products. An obligation to provide the respective characteristics shall only exist if expressly agreed in the terms of the contract.

Turbidímetro Signet 4150



3-4150.090

Rev G 09/09 Spanish



Descripción

El turbidímetro Signet 4150 permite supervisar la calidad del agua en aplicaciones municipales e industriales de forma precisa y fiable. El 4150 usa el método nefelométrico para calcular la turbidez de una muestra al atravesar una cámara de visión. Se dispone de modelos que usan una tecnología de luz blanca según lo requiere la norma 180.1 de la EPA de EE.UU., o se pueden seleccionar modelos que usan una tecnología de rayos infrarrojos según lo requiere ISO 7027.

La calibración periódica es obligatoria en la mayoría de los sistemas de turbidez, y el 4150 hace que ésta sea rápida y sencilla mediante estándares de calibración primarios sellados y reutilizables.

Dispone de dos relés de contacto secos que sirven como alarmas alta o baja, con puntos de control programables y tiempos de demoras para impedir falsas alarmas.

Entre las características adicionales se incluyen una luz de fondo brillante para la pantalla y un sujetador conveniente para la cubeta durante la calibración.

Es estándar un sistema de limpieza de cubetas automático ultrasónico para los sistemas 0-100 NTU/FNU y opcional para los sistemas 0-1000 NTU/FNU.

Especificaciones

Intervalo de medición	0 a 100,0 NTU ó 0 a 1000,0 NTU NTU=FNU=FTU	Regulador de presión integral	1380 kPa nominales
Precisión		Caudal	0,1 a 1 l/min
<40 NTU:	±2% de la lectura o ±0,02 NTU, la que sea mayor	Temperatura de funcionamiento	1°C a 50°C
>40 NTU:	±5% de la lectura	Intervalo de temperaturas de la muestra	1°C a 50°C
Resolución	0,0001 NTU (menos de 10 NTU)	Fuente de alimentación	100 a 240 VCA, 47 a 63 Hz, 80 VA
Tiempo de respuesta	Ajustable	Aislamiento nominal	Aislamiento doble Grado de contaminación 2
Pantalla	LCD multilínea con luz de fondo	Altitud	Categoría de sobrevoltaje II
Relés de alarma (2)	Relé de forma C de 120-240 VCA y 2A	Humedad relativa	2000 metros como máximo
Salida analógica	Unidad activa de 4-20 mA/ RS485 y 600 Ω	Recinto nominal	Máxima del 95% sin condensado
Materiales mojados		Condiciones medioambientales	IP 66 /NEMA 4X
• Tubos:	Vinyl	Peso de envío	No se recomienda para uso exterior
• Cubeta de medición:	Vidrio de borosilicato		2,5 kg
• Sello de arandela de vidrio:	Silicona	Cumplimiento con las normas de regulación y certificaciones	
• Regulador de presión:	Polipropileno FPM Acero inoxidable 316 Polyoxymethylene (POM) Acero inoxidable 316	CE	
• Tubo de entrada:	Acero inoxidable 316	Versión de luz blanca	Cumple con 180.1 de la EPA de EE.UU.
Presión de entrada máxima	Se recomiendan 345 kPa según la conexión del tubo	Versión infrarroja ETL Listó	Cumple con ISO 7027 UL 61010-1 y CSA C22.2 N° 61010-1



China RoHS (Vaya a www.gfsignet.com para los detalles)

SOLITAX[®] sc Turbidity and Suspended Solids Sensors

Turbidity and Suspended Solids

DW

WW

IW

Features and Benefits

Accurate, Color-independent Measurement

Hach's SOLITAX sc Turbidity and Suspended Solids Sensors are immune to shifts in color of activated sludge caused by variations in through-flow volume, climatic fluctuations, or other unexpected events. Unlike conventional systems, that need to be continually calibrated to compensate for color variation, the proven measurement technique used in the SOLITAX sc sensor is the only technology that provides measurement completely independent of color.

Self-cleaning Wiper Prevents Erroneous Values

The SOLITAX sc sensor's self-cleaning wiper prevents erroneous values and maintenance problems by preventing biological growth. Gas bubbles in the sample do not interfere with the measurement.

Excellent Correlation to Laboratory Analysis

Comparisons between laboratory analysis and continuous suspended solids measurement using SOLITAX sc sensors show an exceptional correlation to mixed liquor, settled and thickened sludge. Online measurement not only saves time on manual analysis but also provides critical real time TSS measurements that can be used to operate the plant more efficiently. (See *Correlation Chart on page 2.*)

Fully Serviceable Sensors

Conventional Turbidity and Suspended Solids sensors are potted and are discarded when they no longer function. SOLITAX sc sensors are serviceable so that the useful life of the sensor, in many cases, is doubled.

Easy One-point Calibration

Calibration of SOLITAX sc sensors is easy with a simple correction factor procedure to measure turbidity or suspended solids. Multipoint calibration is available for nonlinear samples.

Versatile Mounting Styles

SOLITAX sc sensors can easily be configured for many applications. Models designed for immersion into a tank are available in PVC plastic or stainless steel. An insertion style sensor for pipes is available in stainless steel. Installation kits for either style sensor are also available.



Hach SOLITAX sc sensors provide accurate, color-independent measurement of turbidity and suspended solids in drinking water, wastewater, and industrial process applications. A self-cleaning wiper prevents measurement error due to fouling. These sensors demonstrate excellent correlation with laboratory analysis so it's an exceptional tool for process control.

Multi-channel, Multi-parameter System

Any combination of two SOLITAX sc sensors can be installed using one Hach sc200 Controller. The same controller can also accommodate any combination of parameters, including suspended solids, turbidity, pH/ORP, dissolved oxygen, conductivity, and nitrate. All of Hach's model sc sensors are "plug and play" with no complicated wiring or set-up procedure necessary.

Communications—Multiple alarm/control schemes are available using four relays and two PID control outputs. Communications use analog 4-20 mA and digital MODBUS[®]/RS485, MODBUS[®]/RS232 protocols. (Other digital protocols are available. Contact your Hach representative for details.)

Data logger—A built-in data logger collects measurement data, calibration, verification points, and alarm history for up to 6 months. The embedded SD card reader ensures simple download of the logged data.

DW = drinking water WW = wastewater municipal PW = pure water / power
IW = industrial water E = environmental C = collections FB = food and beverage



Be Right[™]

Specifications*

	For insertion in pipes		For immersion in open tanks		
	Model inline sc	Model highline sc	Model t-line sc	Model ts-line sc	Model hs-line sc
Parameter	Turbidity Suspended Solids	Turbidity Suspended Solids	Turbidity	Turbidity Suspended Solids	Turbidity Suspended Solids
Measuring Range					
<i>Turbidity</i> <i>Suspended Solids</i>	0.001 to 4000 NTU 0.001 mg/L to 50 g/L	0.001 to 4000 NTU 0.001 mg/L to 500 g/L	0.001 to 4000 NTU n/a	0.001 to 4000 NTU 0.001 mg/L to 50 g/L	0.001 to 4000 NTU 0.001 mg/L to 500 g/L
Units of Measure					
<i>Turbidity</i> <i>Suspended Solids</i>	User selectable—NTU, FNU, or TE/F User selectable—g/L, mg/L, ppm, or % solids				
Accuracy	<i>Turbidity up to 1000 FNU/NTU</i>				
<i>Without Calibration</i> <i>With Calibration</i>	<5% of the measured value ±0.01 FNU/NTU <1% of the measured value ±0.01 FNU/NTU				
Repeatability	<i>Defined according to ISO/WD 13530.</i>				
<i>Turbidity</i> <i>Suspended Solids</i>	Less than 1% of reading Less than 3% of reading (depends on the homogeneity of municipal activated sludge)				
Response Time	1 s < T90 < 300 s (adjustable)				
Calibration					
<i>Turbidity</i> <i>Suspended Solids</i>	Formazin or StablCal® Standard Based on gravimetric TSS analysis with a correction factor procedure				
Certifications	CE certified to EN 61326-1, EN 61326/A1, EN 61326/A2, EN 61010-1				
Mounting					
	Through sidewall of a pipeline using a ball valve; minimum pipe size 100 mm (4 in.) in carbon or stainless steel		Fixed to the rim of the tank		
Flow Velocity	3 m/s (9.8 ft./s) maximum				
Operating Temperature	>0 to 40°C (>32 to 104°F)				
Sample Temperature	>0 to 40°C (>32 to 104°F)				
Sample Pressure					
	Stainless steel: 6 bar or 60 m (87 psi) PVC: 1 bar or 10 m (14.5 psi) Stainless steel: 1 bar (14.5 psi) maximum PVC				
Sensor Construction					
<i>Wiper</i> <i>Sensor body</i>	Silicon Stainless steel		Silicon Stainless steel or PVC		
Dimensions	<i>(diameter x length)</i>				
	Insertion sensor: 60 x 315 mm (2.4 x 12.4 in.); Ball valve from flange: 185 x 625 mm (7.3 x 24.6 in.)		Immersion sensor: 60 x 200 mm (2.4 x 7.9 in.)		
Weight					
	Insertion stainless steel: 2.4 kg (5.3 lb.)		Immersion, stainless steel: 1.38 kg (3.0 lb.) Immersion, PVC: 0.52 kg (1.2 lb.)		
Cable Length					
	10 m (33 ft.) standard. Optional extension cables available in 7.6 m (25 ft.), 15.2 m (50 ft.), 30.5 m (100 ft.). Maximum total length: 100 m (328 ft.).				

*Specifications subject to change without notice.

TU 810 - TU 8105



Sensor para la medida de la turbidez en LINEA Método nefelométrico (luz I.R.)

Cable hasta 100 metros con conector IP68
Preamplificador incorporado.

TU 810 en PVC
TU 8105 en PVDF

Características técnicas

Rango	0...4000 NTU
Resolución	0,001 en 0...4,000 NTU 0,01 en 0...40,00 NTU 0,1 en 0...400,0 NTU 1 en 0...4000 NTU
Precisión	± 5% en escala 0...400 NTU ± 10% en escala 0...4000 NTU
Tiempo de respuesta	10 segundos
Método de medida	Nefelométrico (ISO 7027 - EN 27027)
Fuente de luz	LED I.R. 890 nm
Preamplificador	Incorporado
Alimentación	±12 Vcc (indicador TU 7685)
Temperatura de trabajo	0...50 °C
Presión max.	6 bar

Datos mecánicos

Diámetro	40 mm.
Material ventana	Acrílico
Conector	IP68 -100 bar oceanográfico
Material	TU 810 PVC TU 8105 PVDF
Junta	NBR (nitrilo)

TU 7685



Controlador para sensores de turbidez, permite funcionamiento automático o manual, salidas analógicas, funciones de alarma, limpieza, etc...

TU 910



Accesorio para TU 810 y TU 8105 para medida en línea.

Diseñado para las sondas TU 810 y TU 8105.

Adecuado para la medida de turbidez con bajos caudales y valores.

Diseñado para evitar la formación de burbujas de aire.

Fácil limpieza y calibración.

En el suministro se incluye adaptador 1892702 y junta NBR 2713118 para una sencilla instalación.

Uso	Medida en línea
Caudal	0,2...25 l/min
Temperatura	0...50 °C
Presión	6 bar max.
Material	PVC
Conexión sensor	2 1/2" (DN 50)
Conexión caudal	1/4"

Surface Scatter® 7 sc Turbidimeter

Turbidity and Suspended Solids

Features and Benefits

Less Fouling for Easy Maintenance

The Hach Surface Scatter 7 sc Turbidimeter (SS7) is uniquely designed so that the light source and photocell never come in contact with the sample. In fluids with high loads of suspended solids this makes sample cell cleaning and replacement unnecessary.

Built to Last

All wetted parts of the Hach SS7 turbidimeter are made with corrosion-resistant materials for extended life. The photo-detector and light source assemblies are protected from the effects of corrosive vapors and heated samples. The SS7 turbidimeter is warranted against defects in materials or workmanship for two years from the date of shipment.

Two Models for Different Applications

Surface Scatter 7 sc Turbidimeter—Use the SS7 to establish and maintain optimum process control and for reliable monitoring.

- Drinking water influent
- Wastewater effluent
- Flocculation and sedimentation
- Industrial process water
- Food processing waste containing starch, fat, or oil

Surface Scatter 7 sc High Sample Temperature (HST) Turbidimeter—This is an SS7 turbidimeter designed to monitor samples with temperatures of up to 70°C. An innovative moist air removal system is useful where a difference between the sample temperature and the ambient temperature causes condensation and fogging. For use in applications such as:

- Fluids ranging from raw water influent to corrosive white liquor
- High temperature samples—up to 70°C
- Corrosive white, black, and green liquor in paper mills
- Produced water in oil fields containing oil and hydrogen sulfide
- Wherever temperature differences cause condensation and fogging



Use the Hach Surface Scatter 7 sc Turbidimeter to monitor high range turbidity with greater accuracy and reliability than ever before. The optics never touch the sample in the Hach Surface Scatter 7 Turbidimeter so it's virtually maintenance free.

DW

WW

IW

Wide Measurement Range

The SS7 turbidimeter can reliably measure turbidity from 0 to 9999 NTU in samples that vary from clear water to corrosive and high temperature paper mill and oil field samples.

Backed by a 2-year Warranty

Consistent with its long-standing reputation for quality and customer service, Hach Company warrants all SS7 turbidimeters against defects in materials or workmanship for two years from the date of shipment.

DW = drinking water WW = wastewater municipal PW = pure water / power
IW = industrial water E = environmental C = collections FB = food and beverage



Be Right™

Specifications*

Range

0 to 9999 Nephelometric Turbidity Units (NTU)

Accuracy

±5% of reading or ±0.1 NTU (whichever is greater) from 0 to 2000 NTU; ± 10% of reading from 2000 to 9999 NTU

Resolution

0.01 NTU below 100 NTU

0.1 NTU between 100 to 9999.9 NTU

Repeatability

1.0% or ±0.04 NTU, whichever is greater

Response Time

Initial response in 45 seconds

Sample Flow Required

1.0 to 2.0 L/min (15 to 30 gal/hr)

Sample Temperature

SS7: 0 to 50°C (32 to 122°F)

SS7/HST: 0 to 70°C (32 to 158°F), intermittent 70 to 80°C (158 to 176°F) (an optional heat exchanger is available to reduce sample temperature)

Ambient Temperature

0 to 50°C

Humidity

5 to 95% non-condensing

Power Requirements

100/230 VAC, 50/60 Hz, auto selecting; 40 VA

Installation Category

Category II

Sample Inlet Fitting

3/4-inch NPT female

Overflow Drain Fitting

1-inch NPT female

Body Drain Fitting

3/4-inch NPT female

Air Purge Fitting

3/4-inch compression fitting; 0-50 SCFH airflow clean instrument air

Enclosure

Sample unit: NEMA-12 plastic instrument enclosure

Mounting

Wall mount

Dimensions

64.2 x 67.5 x 19.0 cm (25.3 x 26.6 x 7.5 in.)

Weight

SS7: 15.8 kg (35 lbs.)

SS7/HST: 18 kg (40 lbs.)

*Specifications subject to change without notice.

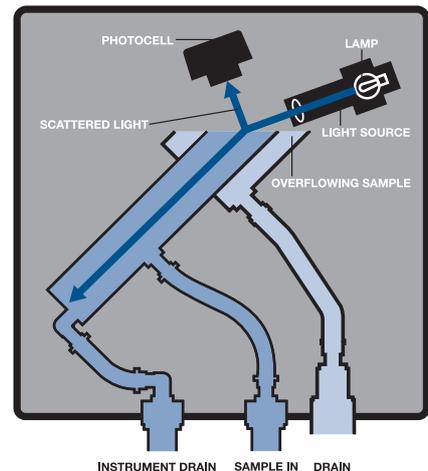
Principle of Operation

The sample is introduced into the center sample tube of an inclined turbidimeter body at a flow rate of 1 to 2 liters per minute (1/4 to 1/2 gallon per minute). As the fluid spills over the top of the turbidimeter body, a stable, flat surface of liquid forms and becomes the measuring surface.

A high-intensity light source is directed at the surface of the liquid at an acute angle. Light is scattered by particles in the sample and is detected by a photocell positioned directly over the point where the light enters the liquid. The light is scattered at or near the

surface and very little is absorbed by the liquid. The amount of light scattered changes in direct proportion to turbidity.

Most of the light directed at the surface of the sample is reflected up into the instrument cabinet and absorbed, or refracted down into the turbidimeter body. A small amount of the light is scattered by the particles suspended in the fluid. The photocell assembly detects light scattered at 90° from the incident beam. The electronic signal generated by the photocell is directly related to the concentration of particles suspended in the sample.



Engineering Specifications

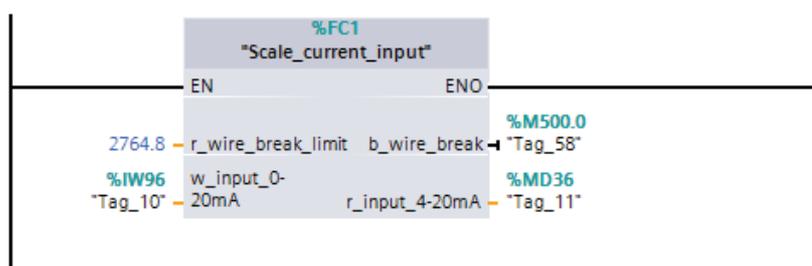
- The turbidimeter shall be a continuous-reading, on-line instrument using the nephelometric method of measurement.
- The turbidimeter shall consist of two main components: a sample unit and a control unit.
- The turbidimeter shall utilize a single silicon photodiode to detect 90 degree scattered light.
- The turbidimeter shall be equipped with a digital display with automatic decimal point placement reading from 0-9999 NTU.
- The accuracy of the turbidimeter shall be better than ±0.1 NTU or ±5% from 0 to 2000 NTU which ever is greater; ±10% from 2000 to 9999 NTU.
- The resolution of the turbidimeter shall be 0.01 NTU.
- Calibration of the turbidimeter shall be based on formazin.
- The turbidimeter shall be sold with a warranty against defects in materials and workmanship for two years from date of shipment.
- All optical and hydraulic components shall be housed in the sample unit.
- The optics of the turbidimeter shall never touch the sample.
- The light source shall be directed to the surface of the water source, eliminating the use of a glass window or flow cell.
- The sampling unit shall be constructed of corrosion-resistant structural plastic.
- The sampling unit shall be powered from the control unit and require no separate power source.
- The sampling unit shall be housed in a NEMA-12 industrial plastic enclosure.

[ANEXO 3]

Adquisición y comunicación entre controladores

En el siguiente anexo se muestran algunos de los bloques y segmentos de importancia utilizados en la programación de la lógica de control, así como algunas características de interés del controlador lógico programable empleado.

a) Bloque de conversión interna de 0-20 mA a 4-20 mA:

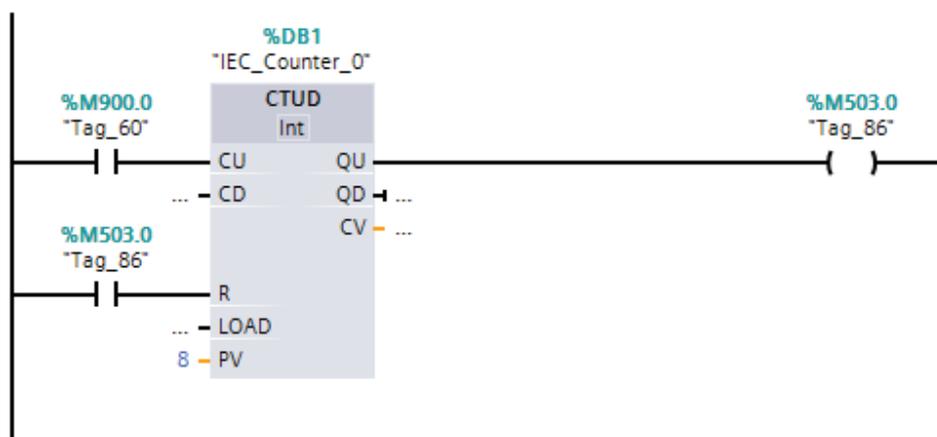


Dicho bloque es utilizado por el controlador para la adquisición de datos analógicos en corriente 4-20 mA y convertirlo a un rango de valor crudo interno de 0-27.648. Tal como se puede observar en el bloque el valor correspondiente para la detección de falla en la comunicación o supervisión de rotura de conductor es de 2.764,8. El rango de valor crudo de 0-27.648 corresponde a la conversión interna de 16 bits realizada por el controlador Siemens S7-1200.

b) Comunicación entre controladores:

La transmisión de datos realizada por el controlador de adquisición de señales hacia los tableros de control de dosificación, es efectuada a través de dos bloques de transmisión, el primero para la transmisión de datos al PLC de control de coagulante

y el segundo para la transmisión de datos al PLC de floculante. Por su parte los controladores de dosificación reciben dichos datos a través de de un bloque lógico interno receptor. La comunicación se realiza en diversos pasos controlados por un contador, el cual indica las acciones de comunicación a realizar, tales como la indicación para enviar un dato, verificar si el bus se encuentra ocupado, verificar si la transmisión y recepción de datos ha terminado e indicar que el bus de comunicación se encuentra disponible para la próxima transmisión. A continuación se muestra el bloque interno contador empleado para la transmisión de señales.



EL contador acoplado al bloque de transmisión de datos realiza un conteo ascendente sistemático de 8 unidades asignados en el terminal PV del contador, el tiempo de 0,1 segundos, esto debido a que el controlador posee internamente marcas de ciclo las cuales están asociadas a una frecuencia de conteo. Dichas frecuencias son determinadas por medio del byte 900 del controlador. A continuación se muestra una tabla que contiene las marcas de ciclo de los controladores correspondientes a cada bit que conforma al byte 900.

bit	7	6	5	4	3	2	1	0
segundos	2	1,6	1	0,8	0,5	0,4	0,2	0,1

Una vez que el contador culmina la cuenta coloca el valor lógico “1” en su salida. Tal como se puede observar en la figura anterior, el bit que se encuentra en la salida del contador es utilizado para comenzar de nuevo el conteo.

Los datos analógicos recibidos por el controlador han sido guardados en los bytes 124 hasta el byte 136 del PLC de adquisición. En la siguiente tabla se muestran los bytes correspondientes a cada una de las variables adquiridas.

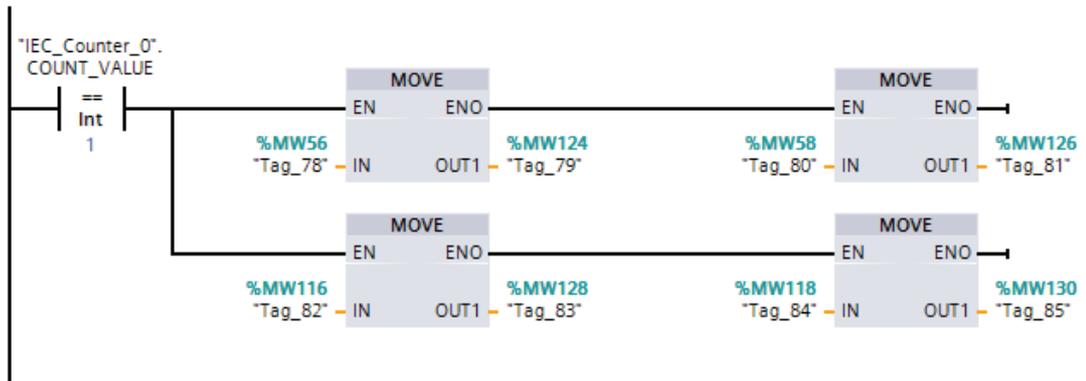
byte	Señal analógica correspondiente
124	Caudal precipitadores 1, 2 y 3
128	Caudal precipitador 4
132	Turbidez de agua cruda
136	Turbidez de agua precipitada

Para la transmisión de datos, se seleccionó un rango de 40 bytes a transmitir como reserva de una expansión futura de manejo de señales. El bloque encargado de realizar la transmisión posee el terminal DATA, en este se ha asignado toda la data a transmitir comprendida en los 40 bytes a partir del byte 124.

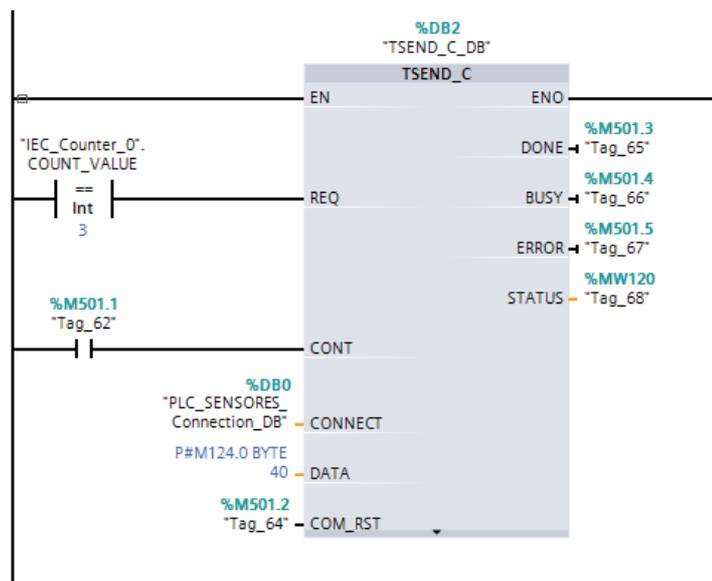
Las acciones realizadas por cada conteo del bloque contado ya explicado son expuestas a continuación:

Contador igual a 1:

Se cargan los datos analógicos de entrada colocados en los bytes, para cargar los datos a transmitir se utilizó la acción MOVE con la finalidad de guardar en registros auxiliares las señales analógicas que se están recibiendo. Una vez cargados los datos a transmitir se prepara con el siguiente conteo la acción a ejecutar.



A continuación se muestra el bloque de transmisión de datos, en este se pueden observar los terminales utilizados para la transmisión, cada uno de dichos terminales serán explicados durante el proceso de transmisión expuesto en las siguientes etapas.



Contador igual a 2:

Se establece la comunicación entre el PLC de adquisición y el PLC coagulante. Esto se logra colocando el valor lógico "1" en el terminal CONT del bloque de transmisión, esta acción se realiza colocando dicho valor lógico en el bit 501.1 tal como se muestra en la imagen a continuación.



En este momento el controlador coloca automáticamente un valor lógico “1” en el terminal BUSY de bloque de transmisión para indicar que se está realizando la transmisión de un dato.

Contador igual a 3:

Se envían los datos que han sido preparados para la transmisión colocando el valor lógico “1” en el terminal REQ en el bloque de transmisión mostrado, lo que verifica el estado del bus para corroborar que no esté en uso y además, realiza la petición para el envío de datos. Al momento de la transmisión el terminal BUSY adquiere automáticamente el valor lógico “1”. Dicha transmisión se termina cuando el terminal BUSY del bloque transmisor vale “0”, de esta forma se asegura que no exista pérdida de datos durante la transmisión.

Contador igual a 4:

Se cierra el canal de transmisión colocando el valor lógico “0” en pin CONT del bloque de transmisión.

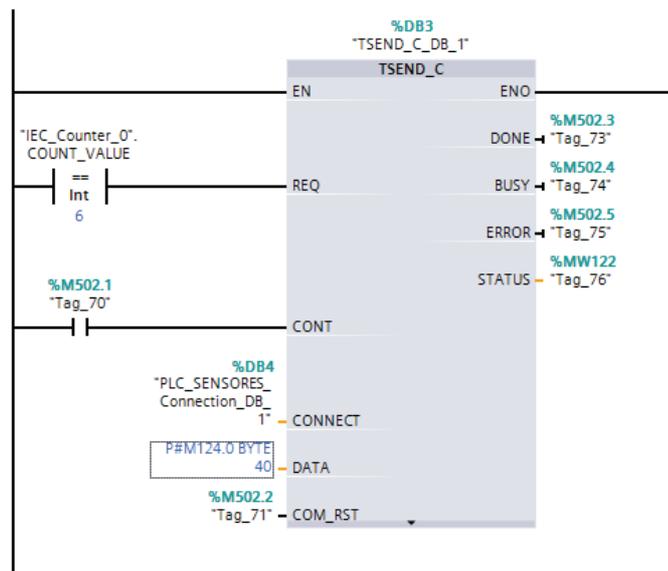


Contador igual a 5:

Se habilita el canal de transmisión entre PLC de adquisición y el PLC floculante colocando el valor “1” en el terminal CONT del segundo bloque de transmisión.



El segundo bloque de transmisión de datos hacia el tablero de control de dosificación de coagulante se muestra a continuación.



Contador igual a 6:

Se transmiten los registros de datos cargados en el terminal DATA hacia el controlador de floculante hasta que el terminal BUSY del bloque transmisor correspondiente valga “0”.

Contador igual a 7:

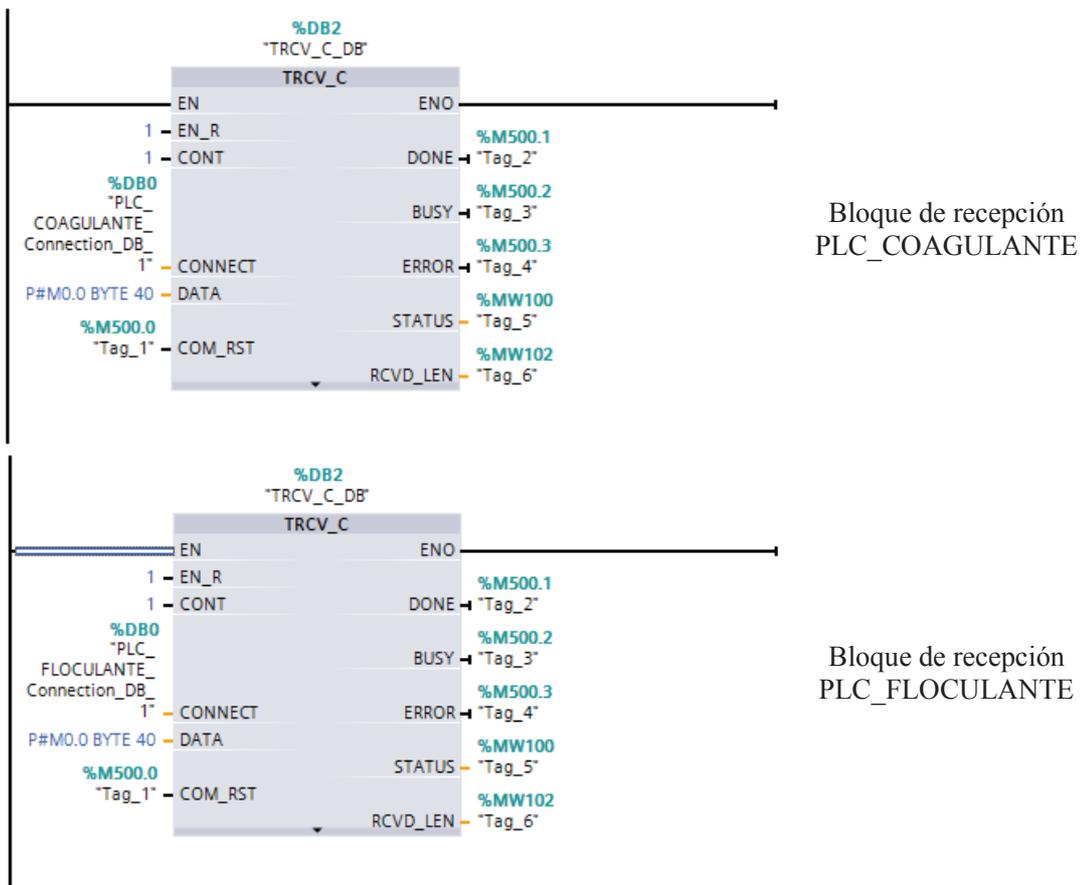
Se cierra el canal de comunicación colocando el terminal CONT del segundo bloque transmisor en “0”.

Contador igual a 8:

En este momento el contador coloca un “1” a la salida, dicho valor se coloca en el pin RESET del contador comenzando de nuevo toda la comunicación.

Todo el proceso de conteo es realizado por el controlador de forma cíclica y sistemática cada 0,1 segundos refrescando y transmitiendo los datos adquiridos.

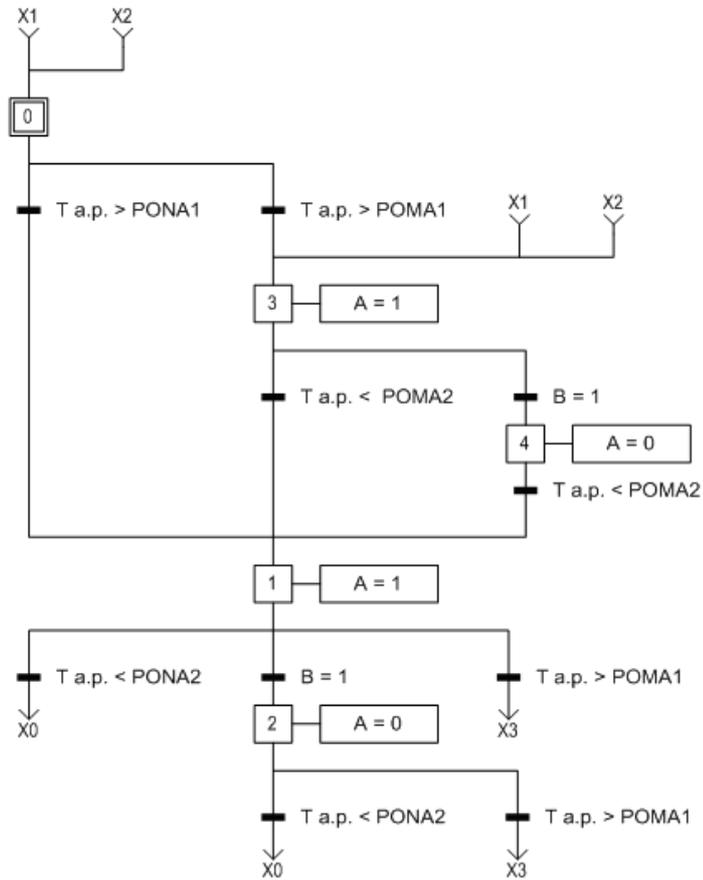
A continuación se presentan los bloques de adquisición de datos digitales ubicados en cada uno de los controladores de dosificación de químicos. En cada uno de ellos se puede observar los terminales comentados en el proceso anterior.



[ANEXO 4]

GRAFNET de la lógica de alarmas de turbidez fuera de rango

Turbidez de agua precipitada

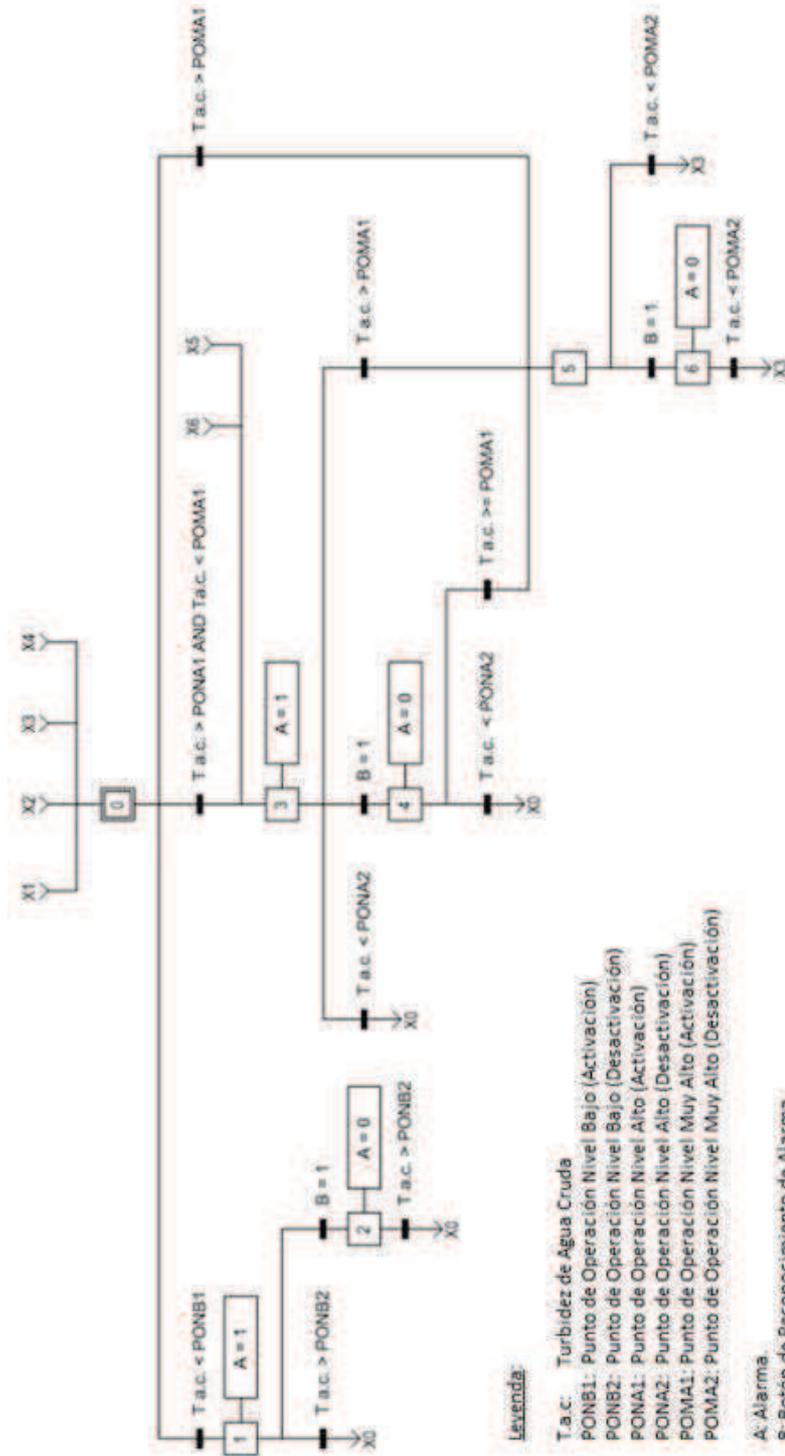


Legenda:

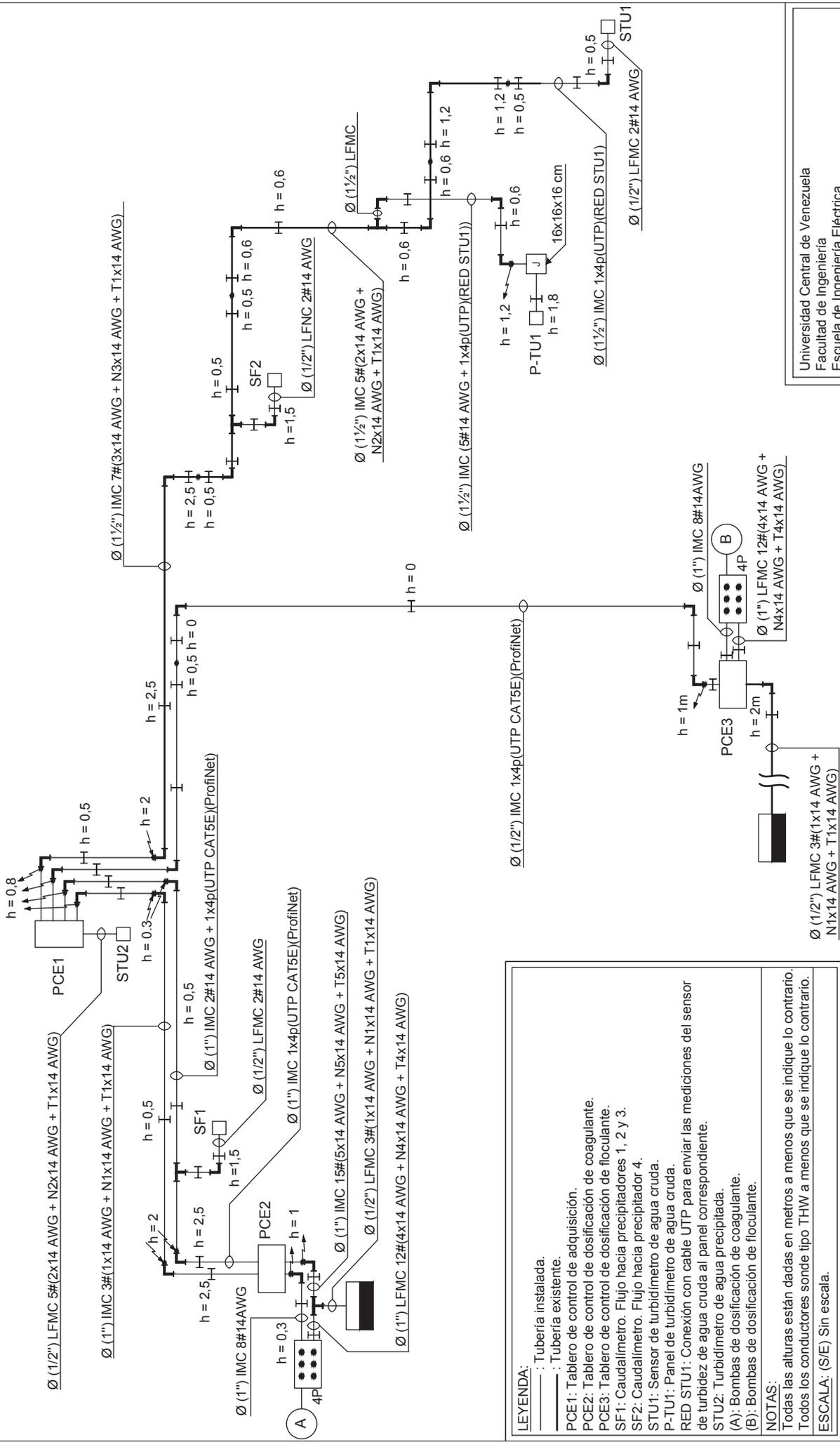
T.a.p.: Turbidez de Agua Precipitada
 PONA1: Punto de Operación Nivel Alto (Activación)
 PONA2: Punto de Operación Nivel Alto (Desactivación)
 POMA1: Punto de Operación Nivel Muy Alto (Activación)
 POMA2: Punto de Operación Nivel Muy Alto (Desactivación)

A: Alarma
 B: Botón de Reconocimiento de Alarma

Turbidez de agua precipitada



[ANEXO 5]
Canalizaciones



LEYENDA:
 — : Tubería instalada.
 - - - : Tubería existente.
 PCE1: Tablero de control de adquisición.
 PCE2: Tablero de control de dosificación de coagulante.
 PCE3: Tablero de control de dosificación de floculante.
 SF1: Caudalímetro. Flujo hacia precipitadores 1, 2 y 3.
 SF2: Caudalímetro. Flujo hacia precipitador 4.
 STU1: Sensor de turbidímetro de agua cruda.
 P-TU1: Panel de turbidímetro de agua cruda.
 RED STU1: Conexión con cable UTP para enviar las mediciones del sensor de turbidez de agua cruda al panel correspondiente.
 STU2: Turbidímetro de agua precipitada.
 (A): Bombas de dosificación de coagulante.
 (B): Bombas de dosificación de floculante.

NOTAS:
 Todas las alturas están dadas en metros a menos que se indique lo contrario.
 Todos los conductores sonde tipo THW a menos que se indique lo contrario.
ESCALA: (S/E) Sin escala.

TÍTULO: CANALIZACIÓN DEL SISTEMA DE DOSIFICACIÓN AUTOMÁTICA DE QUÍMICO COAGULANTE Y FLOCULANTE.
UBICACIÓN: PLANTA RÍO NEVERÍ. BARCELONA, ESTADO ANZOÁTEGUI.
ELABORADO POR: JORGE E. BERBIS M. | **FECHA:** AGOSTO 2012.

Universidad Central de Venezuela
 Facultad de Ingeniería
 Escuela de Ingeniería Eléctrica
 Trabajo Especial de Grado
 2012. Jorge E. Berbís M., DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE CONTROL PARA LA DOSIFICACIÓN AUTOMÁTICA DE REACTIVOS DE PROCESO EN UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS BLANCAS

[ANEXO 6]

Cálculo asociado a las canalizaciones

En siguiente anexo se presentan el modelo, consideraciones y criterios para la selección de conductores y selección de elementos empleados en las canalizaciones implementados en el proyecto.

a) Tablas y consideraciones del NFT 200: 2009 Código eléctrico Nacional, utilizadas para los diversos cálculo:

- Tabla 310.16: Ampacidades admisibles de los conductores aislados para tensiones nominales de 0 a 2000 voltios y 60°C a 90°C con no más de tres conductores portadores de corriente en una canalización, cable o directamente enterrados, basadas en una temperatura ambiente de 30°C.
- Tabla 9: Resistencia y reactancia de corriente alterna (ca) para cables de 600 voltios, 3 fases, 60Hz, 75°C-Tres conductores sencillos.
- Tabla C7 (Continuación 3): Número máximo de Conductores o Cables de Aparatos en Tubos Metálicos Flexibles y Herméticos a los Líquidos del Tipo LFML.
- Tabla C4: Número máximo de Conductores o Cables de Aparatos en Tubos Metálicos Intermedios del Tipo IMC.

b) Consideraciones y criterios para determinar los elementos de las canalizaciones.

- La temperatura máxima media anual promedio en el último reporte del INAMEH (1968-1983) Estado Anzoátegui es 32°C.
- Distancias entre elementos a canalizar.

Tramo de Canalización	Distancia [m]
Tablero Existente Coa. – Tablero Coagulante.	3
Tablero Existente – Tablero de Adquisición.	28
Tablero Adquisición – Turbidímetro Agua Precipitada.	1
Tablero Adquisición – Turbidímetro Agua Cruda.	45
Tablero Existente Floc. – Tablero Floculante.	15

- Potencia requerida en cada punto.

A continuación se presenta la potencia aparente y el factor e potencia (f.p.) de cada tablero e instrumento del sistema implementado.

Punto de carga	Potencia [kVA]	f.p.
Tablero Coagulante.	0,600	0,9
Tablero Floculante.	0,600	0,9
Tablero de Adquisición.	0,180	0,9
Turbidímetro Agua Precipitada.	0,045	0,95
Turbidímetro Agua Cruda.	0,080	0,95

- El calibre del conductor de alimentación de un tablero de control tendrá una ampacidad no menor del 125% de la corriente nominal a plena carga, basada en sus ciclos de operación de utilización simultánea. Esto según lo establecido en el punto 409.20 del CEN 2009.
- La caída de tensión en los conductores que alimenten a los equipos electrónicos no excederá los el 1,5%. Esto según el punto 647.4 (D)(1) del CEN 2009.

c) Selección de conductores.

Los conductores utilizados en la implementación del sistema fueron seleccionados en base a dos criterios:

- Por capacidad de corriente:

Con éste criterio se determinó la cantidad de corriente demandada por cada elemento del sistema.

$$I = \frac{S[kVA]}{V[kV]}$$

La Tabla 310.16 del CEN 2009, indica el conductor a seleccionar dependiendo de la corriente y de la temperatura donde será instalado. Debido a que la temperatura máxima registrada en Barcelona estado Anzoátegui es de 32° C, se aplicó el factor correspondiente a esta temperatura, indicado en la parte baja de la tabla 310.16 del CEN, para seleccionar el conductor.

El factor de ajuste aplicado a la capacidad de corriente del conductor a escoger corresponde al rango de temperatura (31°C - 35°C) es de 0,96.

- Por caída de tensión:

Con este criterio se determinó la caída de tensión producida en cada conductor.

$$\Delta V_{\%} = \frac{S[kVA] * Distancia\ en\ metros\ [km]}{5 * (V[kV])^2} * (R * \cos(\theta) + X * \sen(\theta))$$

Siendo R la resistencia del conductor y X la reactancia del mismo.

La caída de tensión en los conductores que alimenten a los equipos electrónicos no excederá los el 1,5%. Esto según el punto 647.4 (D)(1) del CEN 2009.

A continuación se muestran los resultados de capacidad de corriente y de caída de tensión calculados para cada una de los tableros e instrumentos alimentados en el sistema.

Por capacidad de corriente:

Identificación de carga	Capacidad de corriente [A]
Tablero Coagulante.	2,886
Tablero Floculante.	2,886
Tablero de Adquisición.	0,866
Turbidímetro Agua Precipitada.	0,216
Turbidímetro Agua Cruda.	0,385

La mayor demanda de corriente la realizan los tableros de dosificación de químicos. Según la Tabla 310.16 del CEN 2009, el conductor 18 AWG THHN para una temperatura de operación de 90° soporta 13,44 A luego de aplicado el factor de ajuste por temperatura ambiente. Es política de la empresa EDT Ingeniería utilizar conductor calibre 14 AWG THHN, el cual tiene 24 A de ampacidad de corriente luego de aplicado el factor de ajuste

Por caída de tensión:

Según la tabla Tabla 9 del CEN 2009 la resistencia y reactancia del conductor 14AWG THHN a canalizar en ductos de acero es de 10,2 Ω es de 0,240 respectivamente.

A continuación se muestran los resultados de capacidad de corriente y de caída de tensión calculados para cada una de los tableros e instrumentos alimentados en el sistema.

Tramo de Canalización	$\Delta V_{\%}$
Tablero Existente Coa. – Tablero Coagulante.	0,081
Tablero Existente – Tablero de Adquisición.	0,228
Tablero Adquisición – Turbidímetro Agua Precipitada.	0,001
Tablero Adquisición – Turbidímetro Agua Cruda.	0,153
Tablero Existente Floc. – Tablero Floculante.	0,408

La caída de tensión porcentual calculada para cada uno de los elementos del sistema están por debajo del 1,5% tal como se exige en el punto 647.4 (D)(1) del CEN 2009.

Por tanto, con los criterios aplicados se escogió como adecuado para la canalización de los elementos del sistema el conductor calibre 14 AWG THHN.

La canalización de los conductores se realizó en tuberías de tipo IMC debido a la capacidad de poder ser utilizado en todas las condiciones atmosféricas y para cualquier uso de inmueble, tal como se indica en el punto 342.10 “Usos permitidos” del CEN 200:2009.

De igual forma los elementos escogidos tales como soportes, abrazaderas, tornillos, entre otros, son herméticos y de material resistente a la corrosión.

d) Cómputos métricos.

A continuación se presenta los elementos utilizados en la canalización del sistema de dosificación automática utilizados en la Planta Río Neverí.

Elemento	UND.	Distancia [m]
Tubería IMC Ø 1”	m	124,15
Tubería de IMC Ø ½”	m	49,72
Caja de paso 16X16X16 cm	und.	1
Prensaestopa plástica ½”	und.	10
Prensaestopa plástica 1½”	und.	2
Unión de tubería IMC Ø 1”	und.	45
Unión de tubería IMC Ø 1/2”	und.	12
Reductor IMC (1½" a ½")	und.	16
Tubería Liquid-Tight 1½”	m	10,56
Tubería Liquid-Tight 1½”	m	8
Conector Liquid-Tight 1/2" Recto	m	10

Elemento	UND.	Distancia [m]
Conector Liquid-Tight 1/2" Curva	und.	10
Codo 90° IMC Ø 1/2"	und.	4
Conduleta LR 1"	und.	9
Conduleta LL 1"	und.	9
Conduleta LT 1 1/2"	und.	6
Conduleta T 1 1/2"	und.	10
Conduleta LR 1/2"	und.	12
Conduleta LL 1/2"	und.	8
Conductor AWG#14 THHN	m	339,57
Conductor AWG#14 THHN	m	289,85
Conductor Ethernet UTP CAT. 5e	m	132,33

[ANEXO 7]

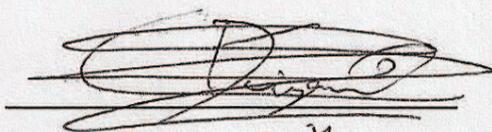
Aval de funcionamiento del sistema

Barcelona, 03 de Septiembre de 2012

ACTA DE CULMINACIÓN

De mutuo acuerdo, la empresa EDT Ingeniería C.A, RIF: J29668405-7, establecida en Caracas, Av. Los Ilustres, Edif. Las Aulas II, Oficina 2-2, Los Chaguaramos 1040; y la empresa Limpiadores Industriales LIPESA S.A, RIF: J-08010339-4, establecida en Caracas, calle Orinoco c/c Baruta, Edif. LIPESA, PH, Urb. Bello Monte Norte 1050, y con sede en Av. Intercomunal C.C. Colonial oficina 19 Barcelona Estado Anzoátegui; de conformidad con la **Oferta de Servicio** emitida por la compañía EDT Ingeniería C.A bajo el número **12006OS-r2** de fecha **01 de Febrero de 2012** y **Acta de Inicio** número **12041CM-r1** de Fecha **13 de Febrero de 2012**, para la Ejecución del Proyecto de automatización de la dosificación de químicos en la planta de tratamiento de aguas blancas (PTAB) del río Neverí, denominado según oferta "**Sistema Automatizado para la Dosificación de los Químicos Coagulante y Floculante**", proyecto para Planta propiedad de PDVSA en Barcelona-Edo. Anzoátegui; los firmantes en calidad de representantes de las partes involucradas **HACEN CONSTAR** que el sistema fue instalado de acuerdo a lo indicado en la Oferta de Servicio y Acta de Inicio antes mencionada, por lo que **ACUERDAN** el presente día 03 de Septiembre de 2012 **DAR POR CULMINADO SATISFACTORIAMENTE** el trabajo avalando el correcto funcionamiento del sistema planteado, así como el otorgamiento de una garantía de funcionamiento de 6 meses por parte de EDT Ingeniería.

POR EDT INGENIERÍA:



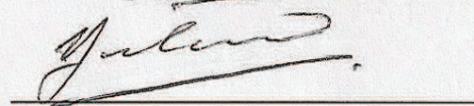
Ing. Carlos Di Yorio

C.I V-17.072.477

Gerente Técnico

EDT Ingeniería C.A

LIPESA
POR LIPESA:
PROMOTORA EPS



MsC. Rigoberto Santaella

C.I V- 8.555.870

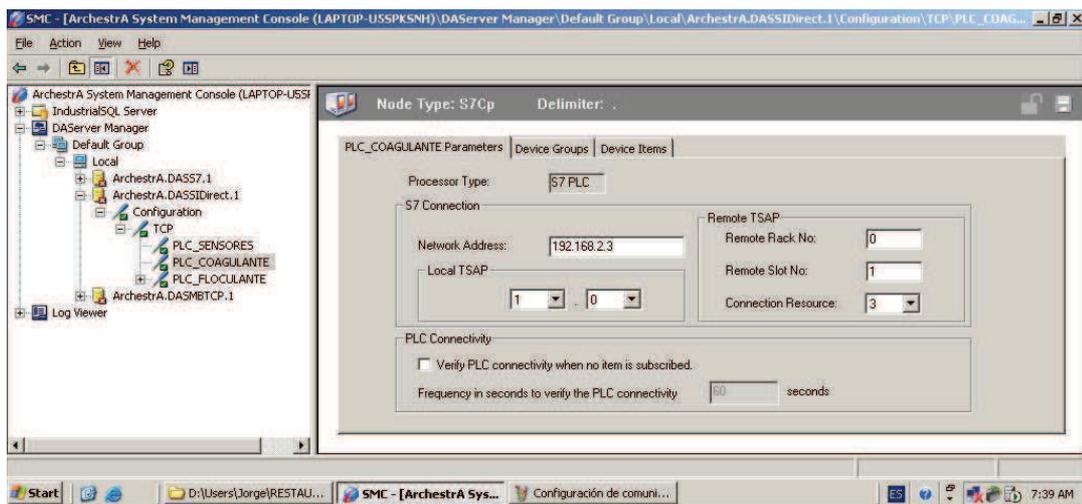
Gerente Distrito Puerto La Cruz

Limpiadores Industriales LIPESA S.A.

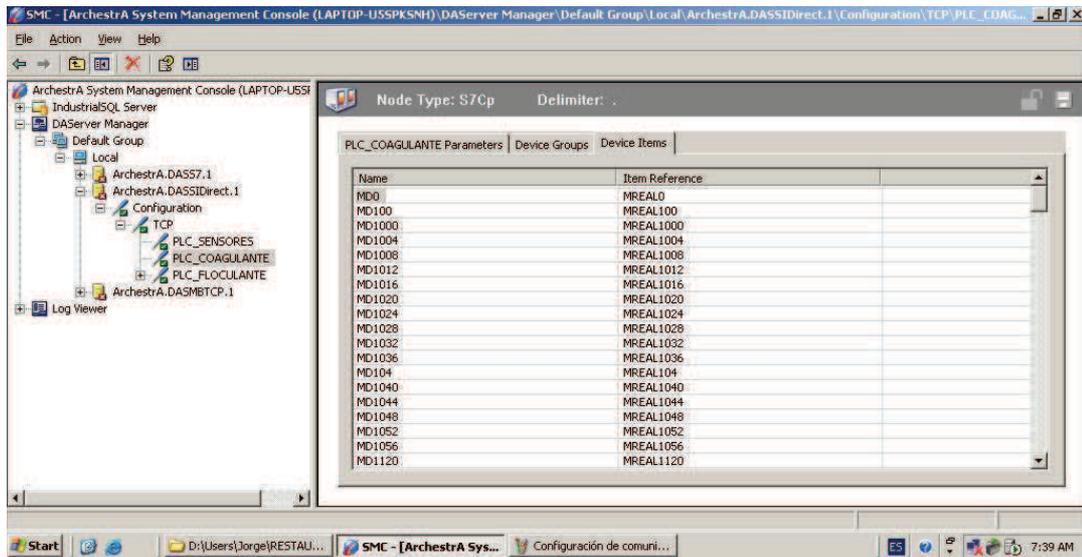
[ANEXO 8]

Configuración de comunicación del SCADA con los elementos de control

La comunicación del sistema supervisorio con los controladores del sistema se realizó mediante la configuración de la aplicación SIDirect DAServer 2.0. de Wonderware. En dicha aplicación se asigna el número IP de cada uno de los controladores así como la los *tags* o etiquetas de las variables a vincular. En la siguiente se muestra la configuración realizada para la vinculación y comunicación con el PLC de control de dosificación de coagulante, identificado por ProfiNet con la dirección 192.168.2.3.



A continuación, se presenta parte de la vinculación realizada con los registros del PLC de dosificación de coagulante, mediante los *tags* vinculados en la aplicación HMI del sistema supervisorio.



Las configuraciones anteriores fueron realizadas para la comunicación del sistema supervisorio con el PLC de control de dosificación de floculante y con el PLC de adquisición de datos analógicos.

[ANEXO 9]

Descripción y configuración de aplicaciones empleadas para la publicación del sistema supervisorio diseñado.

- IIS y ASP.NET

Internet Information Services o IIS es un grupo de servicios para sistemas operativos de Microsoft, proporcionan herramientas y funciones para que el computador se convierta en un servidor de internet o intranet, identificándolo con el nombre asignado al computador y asociándole una página web por defecto. De esta forma, es posible alojar en el servidor páginas web en puertos HTTP y publicarlas para acceder a ellas de manera local o remota. Por su parte, Active Server Pages NET o ASP.NET, pertenece al conjunto de servicios de IIS y es una aplicación que permite compartir datos e información entre distintos sitios o aplicaciones web, además cuenta con diversas herramientas para la configuración de seguridad de los mismos.

El sistema operativo Windows server 2003:R2 posee estas herramientas como componentes de Windows, y las mismas han sido instaladas desde el disco de instalación del sistema operativo.

- Windows SQL Server 2008

Es un grupo de aplicaciones que permiten crear y administrar bases de datos, así como almacenar de forma estructurada grandes cantidades de información o registros en bases de datos que pueden ser utilizadas para crear usuarios y/o grupos de usuarios a niveles empresariales. También brinda un respaldo en el servidor mediante la vinculación de datos registrados en aplicaciones web con bases de datos creadas en el Windows SQL Server.

- Microsoft Sharepoint Services 3.0

Es un software que permite crear, gestionar, administrar y compartir aplicaciones web. Dentro de sus funcionalidades se destaca la posibilidad de construir estructuras dinámicas de sitios o aplicaciones web, además de compartir secciones de una página web dando el aspecto de navegación fluida y ordenada mediante la creación de *links*. SharePoint Server es de gran utilidad para aplicaciones web con diversos contenidos, ya que permite poder ubicar diferentes secciones de dicha aplicación en una sola pantalla mediante la funcionalidad de *multiview* o multivista.

Una vez instalado este software en el sistema operativo, se crea un sitio de internet principal para el servidor alojado por defecto en el puerto 80 de la administración del IIS, dicho sitio de internet adquiere la dirección “http://localhost”, donde *localhost* el nombre del computador servidor, para el computador portátil donde se realizó esta instalación dirección asignada es “http://neveri-server”. A partir de ésta dirección se pueden alojar aplicaciones web administradas mediante *links* de la forma “http://neveri-server/aplicacionweb”.