



**FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA
CON MENCIÓN EN TELECOMUNICACIONES**

TESIS

Diseño de un sistema automatizado para el tratamiento de agua por ósmosis
inversa monitoreado a distancia

PRESENTADO POR

Villamonte Rodríguez, Renzo Luigi

ASESOR

Vilchez Sandival, Jesus Alberto

Los Olivos, 2018



FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA CON
MENCIÓN EN TELECOMUNICACIONES

DISEÑO DE UN SISTEMA AUTOMATIZADO PARA
EL TRATAMIENTO DE AGUA POR ÓSMOSIS
INVERSA MONITOREADO A DISTANCIA

TESIS

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO
ELECTRÓNICO CON MENCIÓN EN TELECOMUNICACIONES

PRESENTADO POR:

VILLAMONTE RODRÍGUEZ, RENZO LUIGI

ASESOR

MG. VILCHEZ SANDOVAL, JESUS ALBERTO

LIMA-PERÚ

2018

Dedicatoria

Mi trabajo de tesis quiero dedicárselo en primer lugar a Dios, quien al paso de este tiempo fue luz en mi vida, alimento y agua de vida quien me ayudó en las dificultades que tuve para desarrollar mi tesis, quien me sostuvo durante todo mi desarrollo profesional, él fue mi mayor motivación para seguir adelante. A mis padres quienes fueron las manos vivas de Dios que me educaron y enseñaron el verdadero significado del amor, ellos me fortalecieron día a día en cada una de mis dificultades. A mis familiares y amigos, quienes me apoyaron incondicionalmente en cada una de mis dificultades, me corrigieron, me dieron ideas para desarrollar mi trabajo de tesis. Y a usted estimado lector quien a través de este documento podré expresarle la pasión por mi carrera y poder brindarle un poco de conocimiento para su propio desarrollo profesional.

Resumen

El proyecto consiste en diseñar un sistema de control automatizado que controle de manera autónoma cada uno de los procesos de ósmosis inversa en la planta embotelladora, este sistema busca corregir las desviaciones presentadas en las variables críticas de control que se da al arranque del sistema de tratamiento de agua, y así mismo un sistema de supervisión vía remota y a distancia del proceso, desde cualquier estación de monitoreo hacia la sala de control. Para ello se implementarán software y equipos industriales para el control autónomo, para la supervisión en red, sensores y transmisores que servirán para el monitoreo del potencial de hidrogeno (PH) y solidos totales disueltos (TDS) del agua y un sistema de comunicación por mensajería de texto y monitoreo a distancia. Los resultados que se espera en el diseño de nuestro proyecto, es que el sistema de tratamiento de agua por ósmosis inversa tenga una mayor eficiencia, mayor estabilidad, que las desviaciones de TDS y PH puedan ser corregidas de manera autónoma y así reducir la pérdida generada al tratar de estabilizar el sistema de manera manual, además de ello que pueda ser monitoreada a distancia vía remota en todo momento por el personal involucrado en el sistema.

Palabras claves: Sistema automatizado, ósmosis inversa, tratamiento de agua

Abstract

The project consists of designing an automated control system that autonomously controls each of the reverse osmosis processes in the bottling plant, this system seeks to correct the deviations presented in the critical control variables that occur at the start of the treatment system of water, and likewise a system of remote and remote monitoring of the process, from any monitoring station to the control room. To this end, software and industrial equipment will be implemented for autonomous control, for network supervision, sensors and transmitters that will serve to monitor the hydrogen potential (PH) and total dissolved solids (TDS) of the water and a messaging communication system of text and remote monitoring. The expected results in the design of our project, is that the water treatment system by reverse osmosis has greater efficiency, greater stability, that the deviations of TDS and PH can be corrected autonomously and thus reduce the loss generated in trying to stabilize the system manually, in addition to that it can be remotely monitored remotely at all times by the personnel involved in the system.

Keywords: Automated system, reverse osmosis, water treatment

Contenido

RESUMEN.....	III
ABSTRACT.....	IV
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO I PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	2
1.1 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....	3
1.1.1. Planteamiento y descripción del problema.....	3
1.1.2. Formulación del problema general.....	3
1.1.3. Formulación de los problemas específicos.....	3
1.2 DEFINICIÓN DE LOS OBJETIVOS DE INVESTIGACIÓN.....	4
1.2.1. Objetivo general.....	4
1.2.2. Objetivos específicos.....	4
1.3 JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN.....	5
1.3.1. Justificación técnica.....	5
1.3.2. Justificación económica.....	5
1.3.3. Justificación social.....	5
1.4 ALCANCE Y LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN.....	6
1.4.1 Alcances.....	6
1.4.2 Limitaciones.....	7
CAPÍTULO II FUNDAMENTO TEÓRICO.....	8
2.1 ANTECEDENTES.....	9
2.1.1 Internacionales.....	9
2.1.2 Nacionales.....	12
2.2 MARCO TEÓRICO.....	14
2.2.1 Metodologías de filtración para el tratamiento de agua.....	15
2.2.2 Metodologías utilizadas para el control de la ósmosis inversa.....	21
2.2.3. LabVIEW.....	28
2.2.4. Control y monitoreo de datos.....	29
2.2.5. Sistema de supervisión por medio de una comunicación GPRS.....	30
2.3 MARCO METODOLÓGICO.....	33
2.4 DIAGRAMA DE BLOQUES DEL SISTEMA.....	34
2.4.1 Etapa alimentación.....	35
2.4.2 Etapa de procesamiento del sistema.....	35

2.4.3 Etapa de sensado de señales	35
2.4.4 Etapa de realimentación	36
2.4.5 Etapa de control de sistema	36
CAPÍTULO III DESARROLLO.....	37
3.1 DETERMINACIÓN DE LA SITUACIÓN ACTUAL DEL SISTEMA DE ÓSMOSIS INVERSA EN PLANTA	38
3.1.1. Proceso de pre-tratamiento de agua cruda	54
3.1.2. Proceso de tratamiento blanda por ósmosis inversa.	56
3.2. ESTUDIO DE LAS VARIABLES DE CONDUCTIVIDAD, PH, ORP, PRESIÓN Y FLUJO INVOLUCRADOS EN EL SISTEMA.....	58
3.2.1. Estudio de la variable de PH en el agua osmotizada.....	58
3.2.2. Estudio de la variable de conductividad en el agua osmotizada.....	62
3.3. DETERMINACIÓN DE LOS EQUIPOS Y LA TECNOLOGÍA DE CONTROL MÁS ADECUADO PARA CONTROLAR EL SISTEMA, BUSCANDO CORREGIR LOS ERRORES DE DESVIACIÓN	66
3.3.1. Controlador lógico programable 1215C DC-DC-DC	69
3.3.2. Módulo CP 1242-7.....	73
3.3.3. Transmisor de presión MBS 3000	74
3.3.4. Electrodo de PH/ORP SIGNET 2724-2726	76
3.3.5. Sensor de conductividad M300	78
3.3.6. Transmisor de conductividad SIGNET 8850.....	80
3.3.7. Transmisor de flujo SIGNET 8550-3.....	82
3.4. ESQUEMATIZACIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL AUTOMATIZADO PARA EL PROCESO DE TRATAMIENTO DE AGUA POR ÓSMOSIS INVERSA.....	84
3.4.1. Red de alimentación al sistema.....	84
3.4.2. Identificación de las entradas y salidas de la CPU	87
3.4.3. conexión de las entradas y salidas digitales	93
3.4.4. Conexión de las entradas y salidas analógicas	94
3.4.5. Desarrollo del programa de control del sistema de ósmosis inversa 101	
3.4.6. Desarrollo y montaje del control PID en el sistema	114
3.4.7. Montaje del prototipo de simulación del ósmosis inversa.....	116
3.4.8. Resultados obtenidos sobre el control automatizado en la regulación autónoma del PH del agua.....	121

3.5. ESQUEMATIZACIÓN DE UN SISTEMA DE MONITOREO A DISTANCIA DEL PROCESO DE ÓSMOSIS INVERSA.....	133
3.5.1. Supervisión vía remota utilizando LABVIEW- OPC SERVER	133
3.5.2. Supervisión inalámbrica del sistema por medio de una red GPRS	141
3.5.3. Resultados obtenidos sobre la implementación del sistema de monitoreo a distancia del ósmosis inversa	149
CAPÍTULO IV ANÁLISIS DE COSTO Y BENEFICIO	155
4.1. ANÁLISIS DE COSTO	156
4.1.1. Recursos humanos.....	156
4.1.2. Recursos de hardware.....	157
4.1.3. Recursos de software	158
4.2 ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD	161
4.2.1 Flujo de Caja	161
4.2.2 Análisis del VAN	161
4.2.3 Análisis del TIR.....	162
CONCLUSIONES	163
RECOMENDACIONES	165
REFERENCIAS	166
GLOSARIO	168
ANEXO	170

Lista de tablas

Tabla 1. Datos técnicos del autómata programable	70
Tabla 2. Datos técnicos de procesamiento	71
Tabla 3. Datos técnicos de señales analógicas y digitales	72
Tabla 4. Datos técnicos de antena de telefonía móvil ANT794-4MR.....	73
Tabla 5. Datos técnicos del transmisor de presión MBS3000.....	75
Tabla 6. Datos técnicos de sensor de PH/ORP 2724-2726	77
Tabla 7. Datos técnicos de sensor de conductividad M300	78
Tabla 8. Datos técnicos de transmisor de conductividad Signet 8850	81
Tabla 9. Datos técnicos del display de transmisor de flujo Signet 8550-3	82
Tabla 10. Datos técnicos del transmisor de flujo Signet 8550-3.....	83
Tabla 11. Lista de entradas digitales al CPU	89
Tabla 12. Lista de salidas digitales conectadas a la CPU.....	90
Tabla 13. Lista de entradas y salidas analógicas conectadas a la CPU	91
Tabla 14. Valores resistivos en relación a la temperatura medida de la PT100	97
Tabla 15. lista de componentes utilizado para la simulación del control PID	119
Tabla 16. Registro de prueba 1 sobre la regulación de PH.....	122
Tabla 17. Registro de prueba 2 sobre la regulación de PH.....	123
Tabla 18. Registro de prueba 3 sobre la regulación de PH.....	125
Tabla 19. Registro de prueba 4 sobre la regulación de PH.....	127
Tabla 20. Registro de prueba 5 sobre la regulación de PH.....	129
Tabla 21. Registro de prueba 6 sobre la regulación de PH.....	131
Tabla 22. Registro de prueba 7 sobre la regulación de PH.....	132
Tabla 23. Presupuesto sobre recursos humanos.....	157
Tabla 24. Presupuesto de materiales y equipos	158
Tabla 25. Presupuesto de materiales y equipos de la maqueta de prueba...	159
Tabla 26. costo total de proyecto	160
Tabla 27. Costo total en pérdida de producto	160
Tabla 28. Flujo de caja proyectado del sistema	161
Tabla 29. Calculo de VAN y TIR	162

Lista de figuras

Figura 1. diagrama de un control PID con realimentación en lazo cerrado	25
Figura 2. Sistema de adquisición de datos.	29
Figura 3. Red de conexión GPRS CPU-teléfono móvil	30
Figura 4. Conexión GPRS con las estaciones de monitoreo.....	32
Figura 5. Conexión red GPRS a través de la red de internet y la estación de monitoreo.....	33
Figura 6. Diagrama de bloques del sistema.....	34
Figura 7. Sistema de tratamiento de agua cruda.	44
Figura 8. Cabina de extracción de agua cruda	45
Figura 9. Centro de distribución para tratamiento de agua cruda	46
Figura 10. Filtro de carbón activado.....	46
Figura 11. Sistema de nano filtración.....	47
Figura 12. Sistema de tratamiento de agua blanda por ósmosis inversa.....	49
Figura 13. Bomba de alta presión.	50
Figura 14. Membranas semi permeable.....	50
Figura 15. Equipo esterilizador ultra violeta	51
Figura 16. Bomba de enjuague flush.	52
Figura 17. Sistema dosificador de soda.	53
Figura 18. Tablero de fuerza del equipo ósmosis inversa.....	54
Figura 19. Escala de acidez y alcalinidad	59
Figura 20. Primer muestreo de la variación del PH al arranque del sistema... 60	60
Figura 21. Segundo muestreo de la variación del PH al arranque del sistema.	60
Figura 22. Tercer muestreo de la variación del PH al arranque del sistema... 61	61
Figura 23. Escala de medición de la conductividad en fluidos.	63
Figura 24. Primer muestreo de la variación del TDS al arranque del sistema 65	65
Figura 25. Segundo muestreo de variación del TDS al arranque del sistema 65	65
Figura 26. Tercer muestreo de variación del TDS al arranque del sistema 66	66
Figura 27. Modulo CPU SIEMENS serie 1200.....	69
Figura 28. Antena de telefonía móvil para modulo procesador de datos.	74
Figura 29. Transmisor de presión Danfoss MBS3000.....	76
Figura 30. Sensores / electrodos de PH y ORP	77
Figura 31. Sensores de conductividad.	79
Figura 32. Patrones de calibración de la conductividad.	80
Figura 33. Panel de registro de la conductividad.	82
Figura 34. Fuente de alimentación SITOP	84
Figura 35. Filtro de tensión de la fuente SITOP	86
Figura 36. Respuesta del filtro a baja frecuencia.	86
Figura 37. Respuesta del filtro a alta frecuencia.	87
Figura 38. Diagrama de conexión del prototipo.....	92
Figura 39. Diagrama de bloque de conexión de las interfaces análogas.	95
Figura 40. Escala de medición de sensores PT100	96
Figura 41. Diagrama de conexión de sensor PT100 al módulo análogo.....	98
Figura 42. Modulo de entrada análoga SM1231	99
Figura 43. Signal Board	100

Figura 44. Slot de conexión del módulo signal Board al CPU.....	101
Figura 45. Diagrama de flujo del programa de ósmosis inversa.....	102
Figura 46. Selección del módulo CPU	103
Figura 47. Selección del módulo de entrada análoga	104
Figura 48. Selección del Signal Board.	104
Figura 49. Selección del módulo procesador de comunicación.	105
Figura 50. Conexión del CPU con módulo de comunicación.	106
Figura 51. Configuración de las interrupciones en el OB1.	107
Figura 52. Configuración del enlace de conexión.	108
Figura 53. Bloque TC_SEND	108
Figura 54. Lista de variables y marcas del CPU.	110
Figura 55. Configuración de la pantalla HMI	111
Figura 56. Configuración del menú de acceso.	111
Figura 57. Configuración del tanque pulmón de agua osmotizada.	112
Figura 58. Diagrama de la planta de tratamiento de ósmosis inversa.....	113
Figura 59. Pantalla de control y arranque del sistema.	113
Figura 60. Bloque de control tecnológico PID	115
Figura 61. Parametros del controlador PID	115
Figura 62. Diseño y armado de la plataforma del prototipo.....	117
Figura 63. Diagrama de bloque de simulación del control PID.....	119
Figura 64. Primer muestreo con el sistema de control PID.	122
Figura 65. Segundo muestreo con el sistema de control PID.	123
Figura 66. Tercer muestreo con el sistema de control PID.	124
Figura 67. Cuarto muestreo con el sistema de control PID.....	126
Figura 68. Quinto muestreo con el sistema de control PID.	128
Figura 69. Sexto muestreo con el sistema de control PID.	130
Figura 70. Séptimo muestreo con el sistema de control PID.	131
Figura 71. Creación de la planta virtual del ósmosis inversa.	134
Figura 72. Planta virtual del sistema de ósmosis inversa.....	136
Figura 73. Determinación de las variables del CPU.....	137
Figura 74. Bloques de conexión a la interfaz del OPC SERVER.	138
Figura 75. Configuración de las entradas y salidas virtuales.	138
Figura 76. Control del sistema desde la estación virtual.	140
Figura 77. Enlace servidor-cliente.....	141
Figura 78. Selección del módulo CP 1242-7.....	142
Figura 79. Configuración del módulo CP1242-7.	142
Figura 80. Se agrega los números de abonado para la conexión.	143
Figura 81. Configuración del bloque TC_CON.....	144
Figura 82. Configuración del bloque TC_SEND.....	145
Figura 83. Pantalla para la consulta de saldo.	146
Figura 84. Configuración del bloque TC_RECV.....	147
Figura 85. Procesamiento de mensajes recibidos.....	148
Figura 86. Pruebas realizadas de mensajería de texto.	150
Figura 87. Alerta de saldo de mensajería disponible	151
Figura 88. Monitoreo en tiempo real del PH y Conductividad desde la estación de monitoreo.	152

Figura 89. Monitoreo en tiempo real del nivel de agua osmotizada desde la estación de monitoreo.....	153
Figura 90. Supervisión del sistema de ósmosis inversa desde la estación de monitoreo.....	154

INTRODUCCIÓN

Actualmente las empresas que se dedican al tratamiento de agua para el consumo masivo, o para procesos industriales, utilizan métodos de filtración, purificadores con radiación o mediante agentes químicos. Un proceso altamente eficiente y utilizado a nivel mundial es la ósmosis inversa, puesto que este método atrapa partículas subatómicas e iones. Este método garantiza al usuario consumidor un agua esterilizada, sin embargo, para alcanzar esos niveles es necesario un proceso controlado, estable y eficiente.

Automatizar un sistema de alta criticidad como es la ósmosis inversa es complejo, pues no solo es atrapar sus partículas subatómicas, sino también controlar sus niveles de PH y conductividad, este factor crítico dentro de los procesos de tratamiento de agua en planta son inestables y tienden a fluctuar, además de ello que su proceso no es automático, sino que se controla de manera manual a través de la intervención del operador. Este método actualmente es ineficiente, pues genera grandes pérdidas a la compañía en tiempo y costos porque se pierden grandes volúmenes de agua por una pequeña inestabilidad del proceso.

En el capítulo II plantearemos los antecedentes de las investigaciones dadas con respecto al proceso de tratamiento de agua, así también un marco teórico que nos servirá para el estudio de nuestro proyecto de tesis con respecto a la automatización y a un sistema de monitoreo del sistema. Asimismo, se exponen los aportes al proyecto de investigación.

Este sistema diseñado resolverá este problema, más aún reducirá las pérdidas de costos y de tiempo, sobre la auto regulación de los parámetros críticos de control.

CAPÍTULO I PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1.1 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1.1. Planteamiento y descripción del problema

En la actualidad los purificadores de agua utilizan el método de ósmosis inversa; dado que retiene entre sus membranas sólidos pesados tales como moléculas e iones de sales no aptas para el consumo humano; sin embargo, unos de los mayores problemas presentados en este sistema es que se desvían las variables de PH y conductividad debido a la alta inestabilidad que se da durante el proceso de arranque del sistema.

Las empresas embotelladoras de bebida en el Perú utilizan este método para la producción de agua no gasificada; sin embargo, este proceso es muy complejo ya que, se tiene que realizar una esterilización del agua manipulando y controlando manualmente las variables críticas, que son el TDS y el PH del agua, estas variables tienden a fluctuar constantemente (PH, conductividad, entre otros). El monitoreo actualmente se debe realizar de forma presencial, por lo tanto, cuando no hay un operador presente, no es posible conocer los valores del TDS, PH y nivel de agua osmotizada.

1.1.2. Formulación del problema general

¿Cómo lograr la estabilidad en el sistema de tratamiento de agua por ósmosis inversa además que pueda ser monitoreado a distancia?

1.1.3. Formulación de los problemas específicos

P.E.1: ¿Cuál es la situación actual del sistema de ósmosis inversa en la planta embotelladora?

P.E.2: ¿De qué manera las variables de PH, conductividad, potencial de oxidación-reducción (ORP), presión y flujo se comportan durante el sistema de tratamiento de agua?

P.E.3: ¿Cuáles son los equipos y la tecnología de control más adecuado para controlar el arranque del sistema, buscando corregir los errores de desviación?

P.E.4: ¿Cómo debería ser el sistema de control que automatice los procesos en el tratamiento de agua por ósmosis inversa?

P.E.5: ¿Cuál será el sistema de comunicación que nos permita monitorear a distancia el tratamiento de agua por ósmosis inversa?

1.2 DEFINICIÓN DE LOS OBJETIVOS DE INVESTIGACIÓN

1.2.1. Objetivo general

Diseñar un sistema que automatice el tratamiento de agua por ósmosis inversa, para obtener un sistema estable y monitoreado a distancia.

1.2.2. Objetivos específicos

O.E.1: Determinar la situación actual del sistema de ósmosis inversa en la planta embotelladora.

O.E.2: Analizar las variables de TDS, PH, ORP, presión y flujo de agua involucrados en el proceso.

O.E.3: Determinar los equipos y la tecnología de control más adecuado para controlar el sistema, buscando corregir los errores de desviación.

O.E.4: Diseñar el sistema de control que automatice el proceso de tratamiento de agua por ósmosis inversa.

O.E.5: Diseñar un sistema de monitoreo a distancia del proceso de ósmosis inversa.

1.3 JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

1.3.1. Justificación técnica

Las empresas industriales buscan optimizar sus procesos con ayuda de los sistemas tecnológicos, con ayuda de la automatización mejoraremos el proceso de tratamiento de agua.

Buscamos poder tener un sistema de control que pueda responder de manera óptima al proceso involucrado, aun en condiciones extremas de temperatura, humedad y efectos de ruido eléctrico, buscando así que el sistema pueda ser implementado en las demás plantas a nivel nacional.

1.3.2. Justificación económica

Actualmente las pérdidas por merma de jarabe y agua son muy elevadas y es porque las variables de control fluctúan constantemente durante el arranque del sistema, las pérdidas por merma se reducirán, gracias al control autónomo el cual se diseñará en el proyecto, además si se presenta averías o alarmas podrá ser intervenida gracias a su sistema de monitoreo en tiempo real.

El sistema permite que, las pérdidas por merma, el rechazo de producto terminado por desviaciones de calidad y las paradas de producción puedan ser controladas y reducidas; asimismo esto generará mayores ingresos a la empresa aumentando las utilidades por la producción de los productos.

1.3.3. Justificación social

Cuando se genera pérdida de producto, esto aumenta los agentes contaminantes para la limpieza química del equipo ósmosis, con la automatización del sistema, se busca reducir los niveles de los agentes contaminantes en el agua procesada, pues esto forma parte de la desviación del PH y TDS, un aumento de soda en el agua tendrá

que ser procesada por efluentes para reducir la contaminación en el agua.

Al reducir la merma aplicando un sistema de control, se estaría reduciendo la contaminación producida por el desperdicio de soda caustica y ácido.

1.4 ALCANCE Y LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN

1.4.1 Alcances

El alcance de esta investigación aborda el subproceso de tratamiento de agua por ósmosis inversa que forma parte del proceso de preparación de bebida como producto terminado.

Dentro de este subproceso se considera en procesamiento autónomo del control PID sobre la disolución del PH, así también el control sobre la conductividad del agua (nivel del TDS). El control sobre la presión de agua, ORP y el flujo solo se tendrá como una referencia para evitar fallas y deterioro sobre las membranas, no como parte del proceso.

El control de calidad no forma parte del trabajo de investigación por encontrarse en otro subproceso.

La esterilización del agua por medio de la radiación ultravioleta emitido por los equipos UV forman parte del proceso, sin embargo, una posible disminución de la potencia de radiación será emitido como una señal de alarma del tipo digital al controlador autónomo PLC.

La conectividad con el servicio general de paquetes vía radio (GPRS) para la comunicación por medio de mensaje de texto se considera como parte del proceso, sin embargo, este queda limitado para la comunicación a nivel nacional, ya que si se desea realizar la comunicación por medio de mensajes de texto a nivel internacional se necesitaría de un servicio streeneng, el cual no se ha considerado parte del proceso.

La comunicación en red por medio del programa LABVIEW solo se ha considerado para protocolo de control de transmisión / protocolo de internet (TCP/IP) por ser un protocolo universal, no considerándose otros tipos de protocolos.

1.4.2 Limitaciones

Se tuvo un costo elevado para el diseño de la maqueta como los materiales a utilizar, por lo que se tuvo dificultad económica para la compra de los componentes.

Gran parte de los manuales de programación y configuración del controlador PLC, como del módulo de comunicación están en otros idiomas (inglés y alemán) por lo que se tuvo que usar traducción de idioma. Para la comunicación GPRS se tuvo que acceder a una programación avanzada por lo que fue difícil tener acceso a ella, y adquirir sus manuales de programación demandando mucho tiempo y esfuerzo.

Acceso limitado a la información del equipamiento, mucha de la información adquirida fue a través de manuales facilitado por la empresa y otros adquiridos del proveedor de Accua Product, el cual gentilmente me facilito dicha información.

CAPÍTULO II FUNDAMENTO TEÓRICO

2.1 ANTECEDENTES

En la actualidad se han hecho muchas pruebas de análisis para el tratamiento de aguas residuales, incluso lo más común es añadiéndole cloro, yodo entre otros para desinfectarlo, sin embargo, ello no elimina los sólidos disueltos en ella y podría provocar intoxicaciones en el hombre si la dosis es demasiado alta.

A continuación, presentaremos algunas investigaciones anteriores echas en el extranjero:

2.1.1 Internacionales

- A.** Carlos Olmos (2002) realiza una investigación y aplicación de sistemas de nano filtración y acondicionamientos de aguas para calderas en la Universidad de Oviedo

Según Olmos (2002), “El agua a ingresar en la instalación de acondicionamiento debe cumplir unos requisitos en razón de que en esta etapa el agua ya debe haber sido sometida a un pre-tratamiento” (p.215).

En su tesis doctoral nos muestra claramente las condiciones mínimas necesarias para procesar agua nano filtrada para calderas, sin embargo, estas condiciones también se pueden adaptar a proceso más rigurosos como la ósmosis inversa.

Los estudios realizados sobre la porosidad de las membranas, tanto para sistemas de nano filtrado como para ósmosis inversa, nos ayuda a determinar la máxima presión osmótica del sistema, el cual se tendrá presente para el diseño, así también los agentes químicos que dañan terriblemente al sistema, y de qué manera podemos evitarlo con sistemas de control automatizados, con sensores electrónicos y/o otros dispositivos.

En su tesis doctoral, nos habla también sobre los tipos de ensuciamiento de las membranas, el cual es originado por la incrustación de sales de gran tamaño, como las sales de potasio

y magnesio, habla también sobre los métodos de limpieza de las membranas, esta información nos servirá para el proceso de saneamiento del sistema, el cual deberá ser automatizado y bajo condiciones estandarizadas de producción y calidad, pues el proceso es totalmente diferente al de ósmosis inversa, se usa agentes de limpieza, temperaturas y presiones diferentes.

B. Lenin Barreiro (Ecuador) Diseño e implementación de un control de planta de nivel Gunt RT450, utilizando un PLC s7/1200 con TIA PORTAL con supervisión LabVIEW mediante un servidor OPC.

Según Barreiro “La comunicación establecida entre la interfaz de LabVIEW y el PLC Simatic S7-1200, por medio de NI OPC Servers, fue estable y nos permitió realizar las pruebas” (p.6).

Nos indica que hubo estabilidad en las pruebas realizadas, asimismo la conectividad en red a través del protocolo TCP/IP permitió monitoreo en tiempo real.

En su proyecto implementa una planta de proceso de prueba llamado Gunt Hamburg el cual al automatizarla con un controlador lógico programable PLC, le implementa un sistema de supervisión SCADA, el cual utiliza un protocolo de comunicación Ethernet, el cual se llama PROFINET. El sistema de supervisión utiliza la plataforma LABVIEW para la adquisición de datos, y un servidor de datos llamado OPC SERVER, de la compañía NATIONAL INSTRUMENT.

El sistema de control implementado es interesante, pues es relacionado a nuestro proyecto, sin embargo, el sistema de supervisión utilizado es de gran utilidad para nosotros, pues utiliza un protocolo de comunicación universal, asimismo se implementa una planta de proceso de manera virtual en LABVIEW, con la facilidad de procesar los datos adquiridos por el OPC SERVER, de manera que se pueda observar en tiempo real los cambios de estados, los procesos del sistema autónomo y poder controlarlos.

Los procedimientos efectuados esta descrito en el documento del autor, el cual se podrá tomar en cuenta para el diseño del proyecto.

C. Darío Martínez (2015) Diseño de una red industrial Ethernet con autómatas SIMATIC S7/1200.

El proyecto de grado del autor muestra un interesante sistema de monitoreo de un proceso a través de la red GPRS, utilizando mensajería de texto, este sistema de supervisión se tomó en cuenta para nuestro proyecto. El proceso de configuración de los bloques lógicos de envío y recepción de mensajes de texto están descritos en este proceso de su sistema, como establecer el enlace de comunicación con el proveedor de servicios, asimismo la información requerida por el operador de servicio para establecer la comunicación.

Según Martínez (2015), “Los equipos dotados con puerto Profinet, como es el caso de la nueva familia de CPU de Siemens, soportan la comunicación basada en los protocolos TCP/IP, lo que les permite conexiones y comunicaciones con protocolos vía Ethernet Industrial” (p.31).

Nos indica que la ventaja de utilizar un CPU con este tipo de protocolo universal es factible para adaptarlo a equipos de control universal para monitoreo y control remoto.

La comunicación por medio de la red LAN que explica el autor del documento, será de útil información para el direccionamiento IP dentro del protocolo de comunicación, como sabemos el sistema también será monitoreada con un servidor a través de LABVIEW, y el direccionamiento IP será necesario, esta información se sumará también a nuestra investigación.

2.1.2 Nacionales

- A.** Zelada (2015). Realiza una investigación sobre la producción de agua de mesa por ósmosis inversa para abastecimiento de UDEP. Área departamental de ingeniería industrial y de sistemas de la Universidad de Piura.

El tema de investigación radica en el método efectivo de procesar el agua residual en agua de mesa a través de proceso de ósmosis inversa. Un método efectivo y rentable para el consumo humano. Según Zelada nos dice que el agua residual, que contiene una gran cantidad de gérmenes o bacterias, puede ser potabilizada e incluso purificada por un buen método de filtración como es el caso de la ósmosis inversa, del cual radica en un proceso bastante tedioso y complejo, siendo Piura unos de los departamentos con mayor urgencia, se necesita la potabilización en los lugares de Paita y Sechura.

Según Zelada (2015), “La presión osmótica es aquella presión necesaria para detener el flujo de agua a través de la membrana.” (p.49).

Esta información nos permite parametrizar los datos de control del sistema, para evitar el daño de las membranas semipermeables del equipo ósmosis.

- B.** E. Reyes (2008) Automatización del sistema de control y monitoreo de una autoclave para el proceso de vulcanización del caucho en calzado de lona.

El autor utiliza los métodos y técnicas de automatización para controlar un proceso y de ser monitoreado continuamente.

Según Reyes (2008), “Los instrumentos de medición que actualmente se utilizan en la industria del calzado con los RTD o las Termocuplas”. (p.13).

El autor propone utilizar los estándares de señales de control para el control automatizado de sensores y transmisores, para valores de tensión y corriente estandarizados, el cual se implementará en el control autónomo que implementará.

C. R. Rivas (2014) control predictivo generalizado de las variables críticas de una unidad de ósmosis inversa.

El autor propone un modelo matemático basado en la transformada Z para cálculos predictivos de desviaciones de las variables de conductividad del agua a la salida del RO en función a la suciedad de las membranas (incrustación de sólidos en las membranas semipermeables).

Según Rivas (2014), “Como variables de salidas del modelo matemático se consideraron el caudal y la conductividad del permeado y como variables de entrada la presión y el pH del alimentado.” (p.4).

El autor define las variables críticas de control, asimismo desarrolla un modelo matemático utilizando técnicas de control autónomo.

Sobre el control autónomo propone un análisis y modelo matemático para el control proporcional integrativo y derivativo del proceso (control PID). El sistema de control de la disolución de soda de la ósmosis inversa, para la estabilidad del PH se hará por medio de un control PID y el autor del proyecto propone un análisis matemático para la estabilidad del sistema, nosotros tomaremos este análisis para la determinación de los valores constantes de proporcionalidad, integración y derivación del proceso de control PID.

2.2 MARCO TEÓRICO

Previamente al estudio de la técnica de purificación del agua por medio de la ósmosis inversa, es necesario hablar de las técnicas de purificación, de la importancia de ello y de los beneficios para el ser humano. (Cancino, Ulloa, y Astudillo, 2009).

Como se sabe el agua es importante para la supervivencia de la especie humana, debido a esto las células trabajan de manera ordenada y armoniosa en la especie humana, el crecimiento, desarrollo biológico y mantener viva a la especie humana. El agua es un compuesto indispensable para la supervivencia de la especie humana, lo cual indica claramente que sin agua la especie humana desaparecería, además existen otros compuestos químicos que también son importantes, pero no tanto como el agua, mencionamos, por ejemplo, el hierro, sodio, yodo, oxígeno (importante para la respiración y oxigenación de las células del cuerpo), magnesio, etc. Estos compuestos energizan y vitalizan el ser vivo para su desarrollo.

Asimismo, debemos saber que el planeta tierra está compuesto por un 75% del volumen de agua en el planeta a través de los océanos, ríos, lagos, etc.; el hombre aprovecha este maravilloso recurso natural para su supervivencia en el planeta, asimismo los animales y toda especie humana. (Rivas Perez, 2014)

Sin embargo, al pasar los años el hombre ha visto la necesidad de estudiarla y ver que en algunos casos consumirla así podría dañarlo al ser contaminada como el agua subterránea, debido a esto el hombre ha visto muchas técnicas de purificación como, por ejemplo, el tener que hervir el agua, en otros casos filtrarla, y al pasar los años ha ido descubriendo nuevas técnicas de purificación mencionemos algunas de ellas:

- Coagulación.
- Floculación.
- Sedimentación.
- Decantación.

- Filtración:
 - Filtración por carbón activado.
 - Ultrafiltración.
 - Filtración micro porosa.
 - Nano filtración

(Cancino et al., 2009).

2.2.1 Metodologías de filtración para el tratamiento de agua

A. Coagulación

Consiste en remover solidos suspendidos en un fluido. Esto da turbidez al agua y que propagan resistencia a la remoción, su tratamiento es por sedimentación.

B. Floculación

Los flóculos son sólidos suspendidos pero en grandes cantidades en un líquido.(García Olmos y Francisco, 2002)

Por medio de polímeros se ayuda a la decantación en altas velocidades de sedimentación. (García Olmos y Francisco, 2002)

C. Sedimentación

La sedimentación es un proceso natural que consiste en que partículas de gran tamaño se suspenden en el interior de un líquido, de esta manera se puede separar partículas más grandes de la más pequeñas. Por la acción de la gravedad la de mayor tamaño van hacia el fondo del líquido. (García Olmos y Francisco, 2002)

D. Decantación

Este procedimiento consiste en separar los sólidos insolubles de un líquido, y por acción de la gravedad van hacia el fondo del líquido. (García Olmos y Francisco, 2002)

E. Filtración

Se separa los sólidos de un líquido a través de filtros que atrapan las partículas más grandes que se encuentran suspendidas en el líquido, así dejando pasar los de menor tamaño. (García Olmos y Francisco, 2002)

Dentro de la filtración podemos mencionar a varios:

a. Filtración por carbón activado

Este procedimiento consiste en hacer calentar al carbón a altas temperaturas en ausencia de oxígeno, esto genera que el carbón se vuelva bastante poroso (se le llama carbón activado), teniendo el carbón con bastantes poros en su superficie se aprovecha para que pueda filtrar por absorción. (García Olmos y Francisco, 2002).

b. Ultrafiltración

Este método es efectivo para conseguir un agua de calidad libre de bacterias y pirógenos. Al igual que en la ósmosis inversa usa membranas para filtrar los contaminantes del agua, pero el tamaño de los poros de la membrana del ultra filtro es mayor que el de la ósmosis inversa. (García Olmos y Francisco, 2002)

c. Filtración micro porosa

Este tipo de filtración utiliza unos filtros micro porosos que no permiten el paso de partículas ni microorganismos. (García Olmos y Francisco, 2002)

El tamaño de los poros es de hasta 0.05um. Los micros filtros de 0.2um son bastante utilizados para tratar el agua cuando se quiere eliminar contaminantes del carbón de absorción orgánica, partículas de resinas de cartuchos de intercambio iónico y bacterias. (García Olmos y Francisco, 2002)

d. Nano filtración

Se diferencia de la ultrafiltración porque estos eliminan iones disueltos, pero sin alcanzar los niveles de separación de una filtración por ósmosis inversa.

La nano filtración logra eliminar sólidos más pesados, podemos mencionar por ejemplo iones de magnesio y calcio, los que comúnmente se le conoce como sarro. Para eliminar la incrustación de estos iones más pesados se utiliza anti incrustante para poder removerlos y luego eliminarlos por medio de un enjuague.

Entre las ventajas de la nano filtración podemos mencionar:

- Elimina los iones (calcio, sulfato, magnesio, etc.).
- Remueve la dureza, acompañada de reducción parcial de sodio.
- Rechaza partículas orgánicas con peso molecular entre 200y 300.
- Elimina bacterias, virus y parásitos.
- Tienen menor tendencia que la ósmosis inversa al ensuciamiento.
- Opera con bajos valores de presión y mínimo costo de energía.

(García Olmos y Francisco, 2002)

F. Ósmosis inversa tecnología para producir agua de mesa

La ósmosis inversa es un método efectivo de tratamiento de agua que consiste en retener los sólidos disueltos en el agua (partículas, iones, moléculas, bacterias, etc.). Este método permite obtener un agua esterilizada el cual lleva el nombre de agua osmotizada. Este permite solucionar muchas deficiencias de destilación del agua y del intercambio iónico.(Fiorella Semillo-Zelada, 2015)

Esta funciona mediante membranas que actúan con filtros micro poroso reteniendo entre sus membranas la mayor parte de las sales disueltas que impiden el paso de las bacterias y los virus, obteniendo un agua pura y esterilizada. A este tipo de agua procesada por medio de la ósmosis inversa se le denomina “agua osmotizada”. (Cancino et al., 2009)

La presión osmótica es aquella presión mínima necesaria para poder atravesar por los poros de la membrana semipermeable el agua a procesar, es decir se requiere una presión mínima para poder filtrar el agua, así reteniendo los sólidos a filtrar, incluyendo así bacterias y microorganismos.(Rivas Perez, 2014; Silva Conde, 2016)

La presión aparente se toma como una diferencia de energía potencial entre ambas soluciones.

G. Deterioro de las membranas de ósmosis inversa

Las membranas de ósmosis inversa pueden dañarse por exposición excesiva al cloro libre, y en menor medida por compuestos orgánicos disueltos. Para evitarlo el agua debe pasar previamente por un filtro de carbón activado. Ello retiene de manera considerable un porcentaje alto de cloro así de manera segura puede llevarse el agua hacia las membranas de la ósmosis inversa. (Cancino et al., 2009)

H. Ventajas del uso de la ósmosis inversa en el tratamiento de agua

La ósmosis inversa es un método práctico y eficaz para el tratamiento de agua para el consumo humano.

Este método en la actualidad es el más usado por las empresas dedicadas al tratamiento de agua a nivel mundial, para el consumo humano, a su vez es el más recomendado por su gran eficiencia en la esterilización del agua. Brinda un 95% de eficiencia en pureza, siempre y cuando su proceso de operación sea la correcta, bajo las recomendaciones de empresas expertas en ello por ejemplo accua product.(Cancino et al., 2009)

I. Problemáticas comunes en el uso de la ósmosis inversa en el tratamiento de agua

Siendo este un método muy eficiente, genera una problemática bastante común durante su proceso de operación, no solo es llevarlo a cabo bajo un procedimiento correcto, bajo la dosis correcta de purificación con cloro y otros compuestos como la soda y el meta bisulfito (no recomendado) pues daña gravemente las membranas, sino que el problema mayor en este proceso es la inestabilidad de sus variables. (Semino Zelada, 2015)

Las empresas dedicadas al tratamiento de agua a través de este método manejan variables que miden el estado del agua procesada, entre ellos podemos mencionar: nivel de PH, nivel de conductividad TDS (sólidos totales disueltos), nivel de cloro disuelto en el agua ORP, nivel de flujo del agua y presión osmótica (presión del agua impulsada para poder atravesar la porosidad de las membranas).(García Olmos y Francisco, 2002)

Todas estas variables antes mencionadas tienen que ser monitoreadas y controladas evitando que tengan desviación con respecto a los patrones de medida (rango de trabajo). Un método eficaz de mantener estable este sistema es automatizándolo, que

se pueda auto regular aproximando los valores medidos al valor deseado.

Existen varios equipos electrónicos y procedimientos de automatización sin embargo, el más común y el más eficiente es usando controladores lógicos programables PLC, puesto que los PLC son diseñados para procesos industriales donde existen condiciones extremas de temperatura, humedad, ruido eléctrico y campos electromagnéticos que podrían afectar su operatividad, los PLC tienen una alta inmunidad a las perturbaciones eléctricas y están diseñados exclusivamente para controlar procesos industriales, además de ello que sus interfaces de comunicación y control tiene compatibilidad con sensores y actuadores industriales (señales discretas y analógicas de tensión y corriente). Es por tal motivo que su diseño electrónico a nivel de hardware está adaptado para altas temperaturas de operación, humedad, ruido eléctrico entre otros.(Molina Pearanda y Barreiro Chevez, 2015)

La automatización consiste en un procedimiento que nos permite controlar, estabilizar y sobre todo manejar de manera autónoma todo un sistema que involucra una serie de procesos, que a través de un computador programable que en su lógica tiene una serie de algoritmos programados ejecuta ciertas funciones dependiendo de la programación que tiene en su CPU (memoria de programa y procesador). Existen muchos métodos y equipos eléctricos-electrónicos que permiten automatizar un sistema, entre ellos podríamos mencionar microcontroladores, FPGA, ordenadores industriales, controladores lógicos programables, sistemas embebidos, entre otros.

Para el caso de la ósmosis inversa la programación debe ser de tipo de lazo cerrado ya que mientras va ejecutando los proceso, este debe ir tomando lectura de todas las variables controladas para monitorear y tomar referencia de cómo va ejecutándose todo

el proceso y que tipo de respuesta en tiempo real da las variables de control como PH, TDS, etc.

Tiene que haber necesariamente una realimentación de las variables de control hacia el controlador para ir controlando cada una de los procesos del sistema logrando así la estabilidad y ejecución en todo el sistema, de manera que, si existe alguna desviación, este pueda corregirlo en un tiempo prudencial evitando así la pérdida de producto terminado por una alta desviación de las variables de control.(Mazzone, 2010).

Como hemos definido la automatización debe de ser de lazo cerrado bajo un control proporcional integrativo y derivativo.

2.2.2 Metodologías utilizadas para el control de la ósmosis inversa

Existen muchos métodos para controlar sistemas y procesos, dependiendo del tipo de sistema a controlar se pueden escoger, por ejemplo, para controlar procesos secuenciales, se pueden usar sistemas temporizados, si es arranque de motores, pueden usar control con arrancadores o contactores.

Sin embargo, para controlar procesos donde se tiene variables fluctuantes, es decir, que son alteradas por perturbaciones externas existen métodos y procedimientos de cálculos matemáticos avanzados, que permite optimizar y controlar dichas perturbaciones. A continuación, se presentan las más utilizadas:

A. Control proporcional

Este tipo de controlador da una salida que es proporcional al error.

Es ideal para controlar plantas estables, se muestra su función de transferencia:

$$\frac{U(s)}{E(s)} = Kp$$

Donde K_p se denomina ganancia proporcional.

Otro parámetro importante en la acción de este controlador es la denominada banda proporcional que expresa que tan grande será la acción de control ante una señal de error en la entrada, y es igual a:

$$B_p = \frac{1}{K_p}$$

B. Control proporcional-integral

En la salida del controlador se presenta una variación de manera proporcional al tiempo. La proporción se da en función a cuánto tiempo permaneció el error con el valor de este.

El objetivo principal que tiene la acción integral es eliminar el error en estado estacionario (es decir en estado estable, cuando este no varía y se mantiene estable), es ahí cuando la acción integral va reduciendo el error, tomando la integración del error durante el periodo que se mantuvo estable, multiplicándolo por una constante K_i , (constante de integración), este a su vez se suma a la acción proporcional.

Esta función integral es ideal para controlar temperatura y no se requiere mucho tiempo para controlar un proceso, ya que el error en modo estacionario no varía mucho, si se requiere para procesos más exactos se necesitará la acción derivativa.

Su función de transferencia es:

$$U(t) = k_p \times e(t) + k_i \int e(t) dt$$

Donde K_p es la ganancia proporcional y T_N se le llama tiempo de acción integral. Ambos valores son ajustables. El tiempo integral regula la velocidad de acción de control, mientras que una

modificación en K_p afecta tanto a la parte integral como a la parte proporcional de la acción de control. (Mazzone, 2010)

Cuando se aumenta el tiempo del sistema se mejora el error del estado estacionario de un orden, tenemos por ejemplo cuando el error se mantiene constante el controlador PI se reduce hasta cero, pero la parte integral al mismo tiempo empeora la estabilidad relativa aumentando en un sobre impulso de la respuesta y las oscilaciones.

Si K_i no se ha calculado adecuadamente este puede llegar a hacer que el sistema se vuelva inestable debido al desplazamiento de los polos hacia la derecha. Virginia, (2002) La acción correctora que es proporcional a la integral del error, proporciona una señal que es función de la propia historia de la señal de error, ya que la integral es una operación acumulativa en el tiempo, permite obtener una señal de control diferente de cero, aunque la señal de error sea cero, es decir la acción de control siempre tiene un valor distinto de cero (cosa que no ocurre en el controlador proporcional, donde si la señal de error es cero la acción de control es cero). (Mazzone, 2010) (Astrom, 2009)

El controlador PI puede entonces mejorar la respuesta transitoria mejorando el amortiguamiento de la señal oscilante y reduciendo el sobrepaso máximo con la parte proporcional (K_p) y reducir el error de estado estable con la parte integral (K_i). (Virginia, 2002)

C. Control proporcional-derivativo

Generalmente, una gran pendiente en $e(t)$ en un sistema lineal correspondiente a una entrada escalón considerable produce un sobre impulso grande en la variable controlada. El control derivativo mide la pendiente instantánea de $e(t)$, prediciendo que tan grande será el sobre impulso aplicando las correcciones apropiadas antes de que se presente ese sobre impulso.

La acción derivativa actúa solamente cuando hay una variación en el error, de tal manera que reduce el error, es decir tomará una acción derivativa sobre el error en el periodo de tiempo que este estuvo variando con respecto al tiempo estacionario.

Evidentemente esta función se sumará a la acción proporcional

La acción derivativa es adecuada para anticipar eventos cuando hay dificultades en los actuadores, por efectos mecánicos o neumáticos, como válvulas IP o se quiere controlar flujo de líquidos o vapor.

La función de transferencia del control PD es:

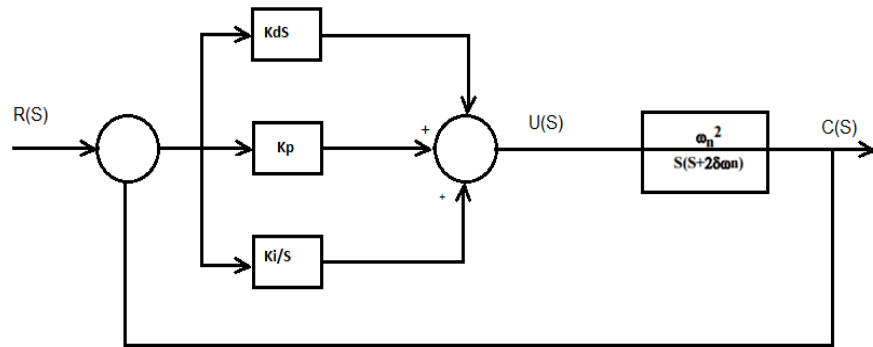
$$U(t) = Kp \times e(t) + Kd \times \frac{de(t)}{dt}$$

Donde T_v se denomina duración predicha.

El controlador PD es en esencia un control que se anticipa, ya que $de(t)/dt$ representa la pendiente del error y controlar el proceso. Si el error en estado estable es constante, o varía muy lentamente, la derivada con respecto al tiempo de ese error es cero. La porción o parte derivativa del controlador, no provee ninguna acción de corrección al proceso, y el controlador adopta una actitud pasiva. Por eso se dice que el efecto del controlador tiene una gran y rápida acción inicial, seguida de un eventual decaimiento a cero de la acción de control proporcional la derivada del error, solo actuará la parte proporcional al error. Pero si el error de estado estable se incrementa con el tiempo, se genera otra vez una acción proporcional a la derivada del error, lo cual reduce la magnitud del error. (Mazzone, 2010)

D. Control proporcional-integral-derivativo

Esta función tiene la particular ventaja de que cada una de las tres acciones actúan de manera independiente. La función de transferencia es:



$$U(t) = Kp \times e(t) + Kd \times \frac{de(t)}{dt} + K1 \times \int e(t)dt$$

Figura1. Diagrama de un control PID con realimentación en lazo cerrado

Combina todas las ventajas de los controladores P, D, I. Aumenta la estabilidad con la parte derivativa, y proporcional, la rapidez de respuesta con la parte derivativa y da más exactitud con la parte integral. (Mazzone, 2010)

Un controlador PID es un mecanismo que tiene un control por medio de realimentación que es usado para sistemas de control industrial. Este método calcula la desviación de la variable y busca corregirlo tomando como señal el error y buscando acercándola lo más posible a la consigna.

Mediante la señal de control realimentada en el punto de medida, mide el error constantemente y según el estado, ejecutara las función integrativa o derivativa para minimizar el error, usando las constantes K_p , K_i o K_d ajusta automáticamente para optimizar el proceso y hacerlo más eficiente. Cuando el sistema no existe se calcula estos valores, sin embargo, si existe la planta o el sistema,

solo es necesario un “auto- ajuste” que modela estos valores ajustándolo a las condiciones deseadas en el proceso.

Como hemos podido observar cada uno de los tres tipos de controladores muestran ciertas características de respuestas frente a los estímulos de las señales con respecto al error emitido. Para nuestro caso, para controlar el sistema de ósmosis inversa, quien más nos conviene para automatizarlo es usando el controlador PID por las siguientes razones:

Por la velocidad de respuesta que tiene frente a las señales de error que se presenta.

Por la proporcionalidad que presenta en el sistema.

Por la estabilidad que garantiza en todo el proceso autónomo.

Por la propiedad de realimentación en lazo cerrado permitiendo tener un control autónomo y constante de todo el sistema.

Es por ello que en la mayoría de los procesos de automatización se utiliza el control PID.

E. Sistema SCADA

Los sistemas SCADA son aplicaciones de software diseñadas con la finalidad de controlar y supervisar procesos a distancia. Se basan en la adquisición de datos, este tipo de sistema es diseñado para funcionar sobre plataforma de supervisión en ordenadores para el control de producción, proporcionando comunicación con los dispositivos de campo (controladores autónomos, autómatas programables, etc.) y controlando el proceso de forma automática desde una computadora. Además, envía la información generada en el proceso productivo a diversos usuarios, tanto del mismo nivel como hacia otros supervisores dentro de la empresa, es decir, que permite la participación de otras áreas, como por

ejemplo: control de calidad, supervisión, mantenimiento, etc.(Algarín, Llanos, y Sánchez Hernández, 2012)

F. Sistema

Es un grupo de elementos o procesos que trabajan de manera conjunta para lograr un objetivo.

G. Sistema de adquisición de datos

Es un sistema cuyo fin primario es la recolección y procesamiento de datos para su posterior almacenamiento, despliegue, transmisión o manipulación matemática para la obtención de información adicional.

H. Control

Es la acción de ejercer algún tipo de poder para obligar el comportamiento de cierto elemento con el fin de lograr un objetivo específico.

I. Control de lazo abierto

Es un sistema de control en donde la señal de salida no determina el valor de la señal de entrada, generalmente son sistemas temporizado.

J. Control de lazo cerrado

Es un sistema en donde la señal de salida se retroalimenta y afecta la señal de entrada con la intención de mantener una relación preestablecida entre la entrada y salida.

2.2.3. LabVIEW

(Laboratorio Virtual Instrument Engineering Workbench), es un entorno de programación gráfica con funciones integradas para realizar adquisición de datos, control de instrumentos, análisis de medida y presentaciones de datos, realiza cálculos complejos de señales analógicas y digitales capturadas a través de tarjetas de adquisición de datos (DAC), puertos serie y GPIB's. Es un lenguaje de programación de propósito general, como es el Lenguaje C o Basic, pero con la característica que es totalmente gráfico, facilitando de esta manera el entendimiento y manejo para el diseñador y programador de aplicaciones tipo SCADA. (Algarín et al., 2012).

Para la supervisión del sistema es necesario enlazar los datos y señales del controlador con el LabVIEW por medio de un OPC server, que como dice su nombre trabaja como un servidor de datos administrativos enviando los datos al monitor de una pc en tiempo real y poder monitorearlo y hasta administrar las funciones operacionales del proceso desde el ordenador, cambiando datos y corrigiendo errores.(Lajara Vizcaíno y Pelegrí Sebastián, 2011).

LABVIEW interactúa con el autómatas a través del servidor OPC-SERVER, el cual toma los datos del autómatas a través de las direcciones lógicas y marcas del PLC, el direccionamiento se da a través de la IP del autómatas con el que se comunicará, y LabVIEW tomará los datos del servidor y lo mostrará en el ordenador. (Lajara Vizcaíno y Pelegrí Sebastián, 2011)

TIA PORTAL un software de programación de autómatas SIEMENS para el desarrollo de programas de control, es compatible con el OPC SERVER, este intercambia información con el servidor de un autómatas, para este tipo de controladores es el TIA PORTAL la que enlaza con el LABVIEW, de manera que si se tiene un sistema de monitoreo virtual en el LabVIEW, conectado al sistema a través del PLC, este pueda ser monitoreada y controlada desde el sistema

virtual del LabVIEW.(Algarín et al., 2012)(Lajara Vizcaíno y Pelegrí Sebastia, 2011).

2.2.4. Control y monitoreo de datos

En la actualidad, los sistemas de control y monitoreo a distancia se han convertido en un factor común de diversos campos de aplicación que van desde la medicina (operaciones tele operadas, vigilancia de pacientes, etc.) hasta la seguridad (vigilancia remota de interiores, detección de agentes biológicos nocivos, control de áreas de gran escala, etc.). En este tipo de aplicaciones, los sistemas de tiempo real cobran gran importancia enfrentándose a la problemática que representa la comunicación debido a las restricciones de tiempo y plazos de entrega que ellos demandan.

Los componentes básicos de todo sistema de control son una combinación de computadoras, estaciones de trabajo, sensores, transmisores, controladores, software gráfico y diversos algoritmos de control, tarjetas de adquisición de señales digitalizadas de propósito general y específico, redes de comunicación, etc.(Molina Pearanda y Barreiro Chevez, 2015).



Figura 2. Sistema de adquisición de datos.

Fuente: Sociedad inducontrol ingeniería S.A.C

Ver link: <http://www.inducontrol.com.pe/adquisicion-de-datos>

2.2.5. Sistema de supervisión por medio de una comunicación GPRS

Dentro de un sistema de supervisión y monitoreo de datos, es necesario una comunicación eficiente, entre el sistema y el administrador del proceso. Muchas compañías hacen uso de este sistema pues mantiene una comunicación constante sobre las eventualidades y ocurrencias durante la ejecución de un proceso, se guardan en una base de datos para su posterior análisis. La comunicación GPRS, es un sistema de comunicación vía inalámbrica que permite la comunicación entre dos dispositivos móviles, o un dispositivo móvil y un ordenador.

Entre los desarrollos de la tecnología electrónica para procesos autónomos, SIEMENS ha desarrollado módulos de interface que nos permite procesar información y realizar la comunicación a través de mensajería de texto por medio de la red GPRS, entre su propio controlador programable (PLC) y un usuario o administrador con un dispositivo móvil.(Molina Pearanda y Barreiro Chevez, 2015).

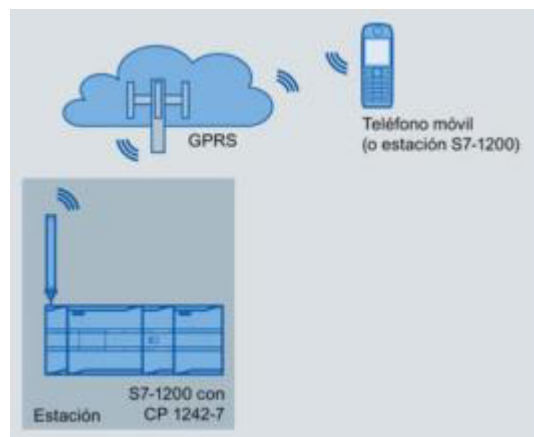


Figura 3. Red de conexión GPRS CPU-teléfono móvil

Fuente: Siemens AG, n.d.

La red de comunicación GPRS para nuestro caso utiliza un dispositivo que se le inserta una tarjeta SIM, esta tarjeta tiene la configuración del operador de servicios al cual se le realizara el envío de los mensajes.

El módulo carga en su memoria interna los datos de configuración y serán enviados a la CPU del PLC.

Para poder realizar los envíos de mensajes, es necesario contar con saldo, pero además de ello de una antena de telefonía omnidireccional con la frecuencia y ganancia necesaria para el enlace respectivo.(Siemens AG, n.d.)

Cuando el equipo se haya conectado a la red, este tendrá su led de estado respectivamente encendidos, indicando que la comunicación ha sido eficaz, en caso la comunicación se haya perdido, este emitirá información de la pérdida de conexión.

Este sistema es eficiente cuando se quiere realizar una supervisión de sistemas bastantes lejanos, o donde no es posible el acceso a personal, por temas de altura, salud u otro factor que afecte, sin embargo es preciso que haya señal de telefonía móvil para el envío de los mensajes.(“Enviar SMS con CP 1242-7,” n.d.)

Es posible además tener una central de monitoreo, donde un servidor controle la administración de los datos a enviar, estos mensajes además de enviarse se guardan en un servidor, y es posible también enviar correos electrónicos con los mensajes a enviar. La configuración para este tipo de servicio se llama teleservicio, y se administra desde el mismo módulo de comunicación.

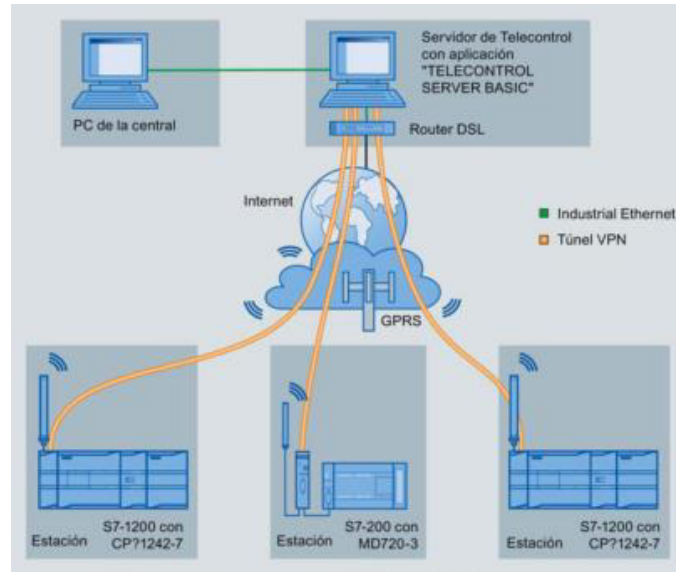


Figura 4. Conexión GPRS con las estaciones de monitoreo.

Fuente: Siemens AG, n.d.

EL módulo que permite este tipo de servicio es el CP1242-7 y es un módulo de comunicación GPRS, de la marca SIEMENS y compatibles solo con los CPU de la serie 1200.

Como se mencionó anteriormente estos módulos cuentan con un slot donde se inserta una tarjeta SIM para la comunicación sea TELESERVICE o GPRS de la empresa de servicio al cual se realizara la conexión. (Siemens AG, n.d.)

La conexión TELESERVICE es un sistema de envío de correos electrónicos a una página web, donde se almacena la información de los correos, avisos, alarmas, etc. Es preciso que el sistema esté conectado a internet para la emisión de los correos electrónicos.

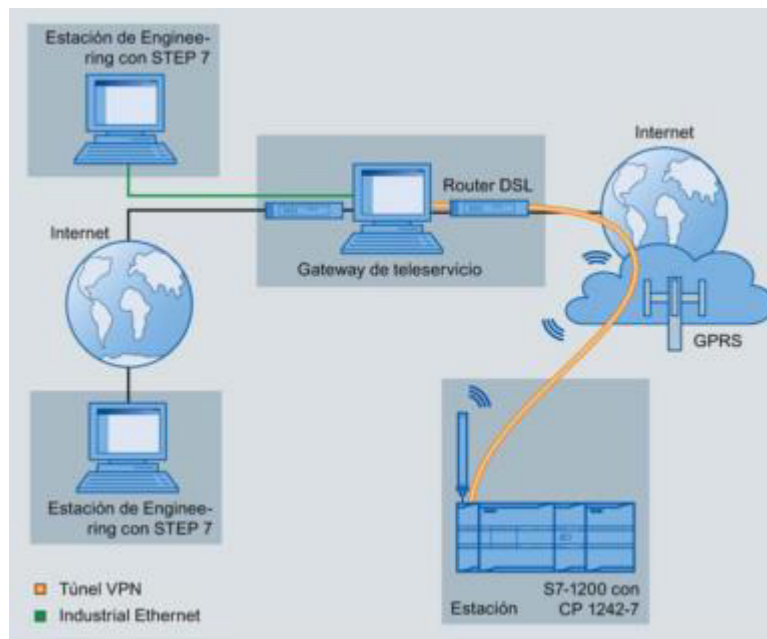


Figura 5. Conexión red GPRS a través de la red de internet y la estación de monitoreo.

Fuente: Siemens AG, n.d.

2.3 MARCO METODOLÓGICO

Para la elaboración y estudio del diseño, se tuvo que recopilar información de la secuencia de trabajo, las condiciones de operación, rango y medidas de trabajo (temperatura, flujo, niveles de PH y TDS, entre otros), se tomó muestra de los valores medidos en tiempo real en cada uno de los arranques del proceso, así también durante su secuencia de operación, así también de las averías que se presenta cuando se genera una desviación. Por tal motivo se tuvo un tipo de investigación experimental, porque se analizó el efecto producido por la acción o manipulación de una o más variables independientes sobre una o varias dependientes.

El tipo de diseño fue cuasi experimental, porque se tomó mediciones de las variables, antes y después del diseño, es decir con el sistema manual, y con el diseño automatizado, también porque estos dos grupos de mediciones se compararon y analizaron para estudiar el comportamiento del sistema en cada una de las condiciones, adicionalmente se tomó tiempos interrumpidos para tomar medidas y análisis del sistema.

Para el diseño se tuvo un tipo de muestreo por conglomerado, porque las muestras obtenidas estuvieron disponibles para la investigación, fueron fáciles de reclutar. También se puede incluir al muestreo por juicio, porque conocimiento y la credibilidad recibida de los operadores de producción, que basándose a su experiencia y manejo del sistema proporcionaron información de medida adicional del muestreo tomado.

Se recolecto información de fuentes primarias, como manuales, capacitaciones, estudio autodidacta del sistema de ósmosis inversa, además de supervisores, maquinistas de producción (operadores), analistas de calidad, y de los hechos percibidos durante la operatividad del sistema.

Se observo continuamente el comportamiento del sistema en sus procesos de operación manual, continuamente con el estudio de las variables medibles.

2.4 DIAGRAMA DE BLOQUES DEL SISTEMA

Se presentará el diagrama de bloques del sistema automatizado de ósmosis inversa.

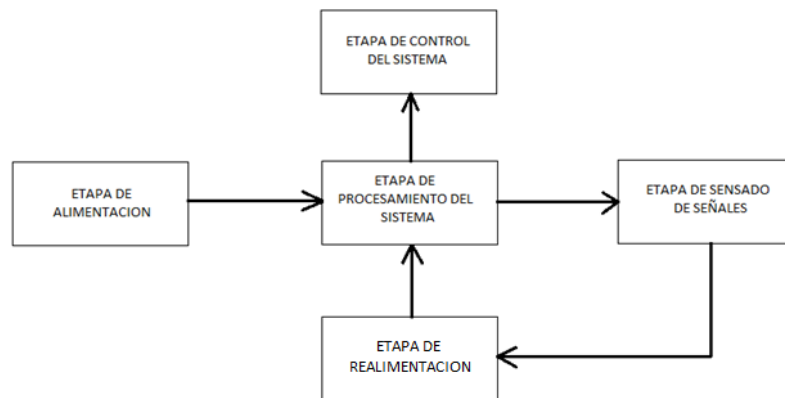


Figura 6. Diagrama de bloques del sistema.

A continuación, se describirá cada una de las etapas del sistema.

2.4.1 Etapa alimentación

Para el diseño del sistema se considera una red de alimentación de 220V cuya configuración de red es trifásico de 220VAC

Es indispensable saber ello para elegir el tipo de fuente de alimentación para el controlador, puesto que ello podría dañar nuestro controlador. Incluso conocer el grado de contaminación de la red eléctrica (ruido eléctrico), si es necesario utilizar filtros para el ruido eléctrico o supresores de pico.

2.4.2 Etapa de procesamiento del sistema

En esta etapa se procesarán las señales provenientes de los sensores y transmisores y en función a la programación y a los valores obtenidos, el mismo controlador dará respuesta sobre los actuadores, ello implica si el mismo dará respuesta discreta (ON-OFF/0-24vdc); o señales moduladas analógicas (0-10vdc/4-20mA).

El procesamiento lo realizara un algoritmo, el cual tomando las señales medibles dará una señal de respuesta (discreta-análoga), según las instrucciones que ejecute el procesador.

2.4.3 Etapa de sensado de señales

A través de los sensores se tomará muestras de las señales analógicas y digitales, dependiendo del tipo de señal este podría ser previamente procesado por un transmisor y luego enviado hacia el controlador; o sino la señal recibida del sensor podría ser enviada directamente hacia el controlador.

2.4.4 Etapa de realimentación

El diseño del sistema se basa en solucionar un problema de inestabilidad, se buscará automatizarlo, pero para ello es necesario que las señales emitidas por el controlador, sea reprocesada por el mismo controlador, para ello es preciso realimentar las señales para que el controlador pueda solucionar el problema de inestabilidad.

2.4.5 Etapa de control de sistema

En esta etapa el controlador actuará sobre el sistema a través de actuadores (válvulas, variadores, relés, bombas de agua, etc.) con el objetivo de ejecutar y controlar el sistema de ósmosis inversa

CAPÍTULO III DESARROLLO

3.1 DETERMINACIÓN DE LA SITUACIÓN ACTUAL DEL SISTEMA DE ÓSMOSIS INVERSA EN PLANTA

Análisis de la situación actual del sistema de ósmosis inversa en la planta embotelladora.

Uno de los procesos más complejos para la producción de agua de mesa es su proceso de purificación, este proceso está basado en la micro filtración del agua para retener partículas sub atómicas.

El tratamiento de agua consta en varias etapas, en la que eliminan sólidos pesados, gérmenes, bacterias mediante procesos de desinfección evitando la creación de vida microbiológico dentro de los tanques de preparación de bebida.

El agua que es extraída de los pozos profundos pasa por un pre tratamiento para la preparación de dos tipos de agua: agua blanda y agua tratada.

Estos dos tipos de agua que se obtiene tienen ciertas características.

El agua tratada tiene una menor cantidad de sólidos a comparación del agua blanda, el agua tratada no pasa por unos ablandadores y es utilizada para la preparación de néctares.

El agua blanda pasa por unos ablandadores para reducir el nivel de sólidos más pesados, los sólidos pesados son los iones de magnesio y potasio (sarro). Se le agrega una dosis de cloro en pequeñas proporciones para desinfectarla; sin embargo, el nivel de cloro debe ser controlado ya que si la dosis es bastante concentrada podría alterar la siguiente etapa. Es utilizada para la preparación de agua de mesa y jugos, así también es utilizada para las calderas.

Siguiendo la misma secuencia, el agua blanda es almacenada en un tanque de 40m³ que será para la producción de agua de mesa.

El agua blanda pasará por un proceso de retención de partículas de cloro a través de unos filtros de carbón activado que retiene el cloro antes de seguir a la siguiente etapa.

Finalmente, el agua ingresa a la sala de ósmosis inversa donde pasará primero por unos filtros pulidores que retiene ciertas partículas de carbón que podrían pasar por las tuberías, el propósito es para evitar que lleguen a las membranas del equipo ósmosis.

El maquinista de producción antes de pasar a la siguiente etapa que es el procesamiento del agua blanda a través del sistema de ósmosis inversa, tiene que supervisar ciertos parámetros que serán involucrados en el proceso, asimismo se deberá verificar el estado de las variables para evitar el daño de las membranas semi permeables.

- TDS de ingreso al RO (rango no mayor a 700mg/L)
- PH (no inferior a 6.5 ni mayor a 8.5).
- Nivel de dosificación de cloro.
- Presión de agua (antes y después de los filtros pulidores).
- Presión de agua enviada por una bomba desde el tanque de agua blanda de 40m³.
- Flujo de agua (es monitoreada y controlada durante el proceso del RO).

Es preciso tener en claro que para el arranque de producción (por lo general se da el saneamiento los días domingos por la tarde y arranca producción a las 5-6:00am) por lo que el saneamiento se da al equipo de ósmosis inversa, así mismo las demás líneas de producción de agua también realizan su respectivo saneamiento con agua blanda, detergente de desinfección (dilac z, cloro, soda caustica, ácidos, agua caliente, etc).

El equipo de ósmosis inversa también realiza su respectivo saneamiento con soda caustica y genesol, entrando en un estado de reposo de 2 a 3 horas, luego entra en un enjuague de 2 horas de flujo continuo con agua blanda. Esto dura aproximadamente 7horas.

El departamento de calidad realiza sus respectivas pruebas de inocuidad, hisopado y análisis microbiológico para analizar la carga bacteriana en las tuberías de acero inoxidable, los tanques de preparado básico, tanque pulmón.

Asimismo, se realiza saneamiento de los mezcladores de jarabe tanque de contacto, etc.

Los esterilizadores UV también pasa por el proceso de saneamiento, al interior del equipo UV se encuentra lámparas de cuarzo y de radiación UV. El agua tiene contacto con los tubos de cuarzo, por lo que es indispensable que dichos tubos pasen por el proceso de saneamiento.

Antes de iniciar el proceso de envasado en las líneas de producción, el departamento de calidad e inocuidad debe de realizar las pruebas siguientes:

- Se realiza pruebas de carga microbiológica en las tuberías de agua, válvulas de muestreo válvulas de las respectivas llenadoras, etc.
- Verificación del TDS del producto terminado y del agua osmotizada,
- Verificación del PH del producto terminado y del agua osmotizada.
- Verificación del nivel de ozonificación de la bebida del producto terminado.

Si calidad verifica que estas pruebas respectivas dan un resultado óptimo da pase a producción para iniciar el proceso de envasado de la bebida de producto terminado.

Por lo general el nivel de TDS al inicio del arranque del proceso de ósmosis inversa tiende a ser elevado (por lo general entre 80 y 90mg/L) lo cual tendría que ser rechazado el producto.

En la actualidad, se pierde entre 15 y 20 minutos de agua osmotizada (se considera como una pérdida inminente por la desviación del TDS y PH). Esta pérdida se da mientras el operador trata de regular estas variables

manualmente. Luego de haber regulado estas variables el sistema se estabiliza.

Sin embargo, se han presentado situaciones en la cual el TDS y el PH del agua osmotizada se ha elevado volviéndose un agua altamente alcalina y con elevados niveles de sales disueltas; esto sucedió por las siguientes situaciones:

El flujo de agua de la cisterna de agua blanda de 40m³ ha bajado de 70m³/h a 50-45m³/h lo cual ocasiona que la proporción de dosificación de soda se incremente obteniendo a la salida un alto nivel de alcalinidad, asimismo los sólidos se incrementan siendo rechazada manualmente por el operador.

La dosificación de soda no es controlada de manera automática por el equipo de ósmosis inversa, es decir la dosificación es continua y constante, lo cual se ocasiona que frente a cualquier perturbación del sistema se desvíe las variables pudiendo dañar las membranas del RO.

Situaciones por las que el sistema RO sufrió alteraciones y daños en las membranas:

La presión máxima que puede soportar las membranas es de 300 psi. Las bombas de altas están programadas para que trabajen a una frecuencia de 40Hz emitiendo una presión entre 200-230 psi, sin embargo, frente a perturbaciones eléctricas y mala manipulación, la presión superó lo permitido por las membranas dañándolas y generando mayores gastos para su respectivo cambio.

El área de suministro, por error operacional, envió agua blanda al RO con altos niveles de cloro dañando gravemente las membranas, el sistema cuenta con un sensor que mide el cloro libre en el flujo de agua, pero no cuenta con un mecanismo de bloqueo para que no dañe las membranas.

Para evitar el retro lavado de los filtros de carbón (por temas de costos y reducción del presupuesto) se añadió meta bisulfito a las membranas para retener el cloro al ingreso de las membranas; sin embargo, el meta Bisulfito

daño gravemente 18 tubos de membranas generando gastos de aproximadamente 25000 dólares.

El sistema no cuenta con un panel de operaciones que se visualice el estado del sistema, el estado de las variables y la secuencia del trabajo del equipo RO.

Uno de los problemas que se tiene durante el arranque de operación de la ósmosis inversa es cuando se intenta corregir el problema se pierde aproximadamente 35m³ de agua procesada con errores de conductividad y con PH elevado (agua alcalina).

Esta agua es rechazada por el drenaje y a su vez se tiene que realizar un lavado y enjuague de todo el sistema, desde los filtros pulidores hasta el tanque pulmón de 20m³.

Estos errores generan una parada de producción de aproximadamente 4 a 5 horas.

Si el problema es aún más grave podría llegar a las 8 horas lo cual llegado este tiempo, por norma de inocuidad, se deberá de realizar saneamiento de 5 pasos a la llenadora de las líneas de producción que estén trabajando, asimismo calidad deberá verificar la inocuidad y esterilidad del tanque pulmón, del equipo de ósmosis inversa, los esterilizadores y de las respectivas llenadoras de las diferentes líneas de producción.

Como se mencionó anteriormente las variables críticas del equipo ósmosis son el TDS (Sólidos totales disueltos) y el PH. Las variables que no se consideran como críticas son el flujo de agua, el ORP (nivel de cloro libre en el agua) y presión osmótica del agua (presión requerida para atravesar las membranas semi permeable).

Estas variables no afectan directamente al agua procesada, pero si a las membranas del equipo de ósmosis inversa.

El equipo de ósmosis inversa cuenta con los siguientes equipos:

- Dos bombas de agua de alta presión.
- Una bomba dosificadora de soda caustica.
- Una bomba de agua para flush.
- Una bomba de agua para saneamiento.
- Tanque de preparado para saneamiento.
- Tanque pulmón para agua osmotizada.
- Dos equipos esterilizadores ultra violeta.
- 48 membranas semipermeables para la ósmosis inversa.
- Un filtro pulidor.
- Bomba para alimentación de agua blanda.

Para obtener agua blanda, se realiza una serie de procesos sobre el agua cruda extraída de los pozos subterráneos, extraídos a más de 60 metros de profundidad. El agua cruda pasa por dos procesos que trabajan de manera paralela, una de ellas es para obtener agua tratada, para la preparación de jugos y néctares y el otro proceso es para obtener agua blanda, para la preparación de agua de mesa y bebidas no gasificada.

Ambos procesos se realizan en el área de suministro, donde se abastece vapor, aire comprimido y agua; es aquí donde se realiza todos estos procesos, incluso se realiza el tratamiento de agua residual rechazada de planta, el cual pasa por otros procesos no mencionados anteriormente, el cual es para ser drenado al desagüe de uso común asumido por SEDAPAL.

A continuación, se mostrará el esquema del sistema de pretratamiento del agua cruda extraída del pozo profundo e imágenes de los equipos involucrados:

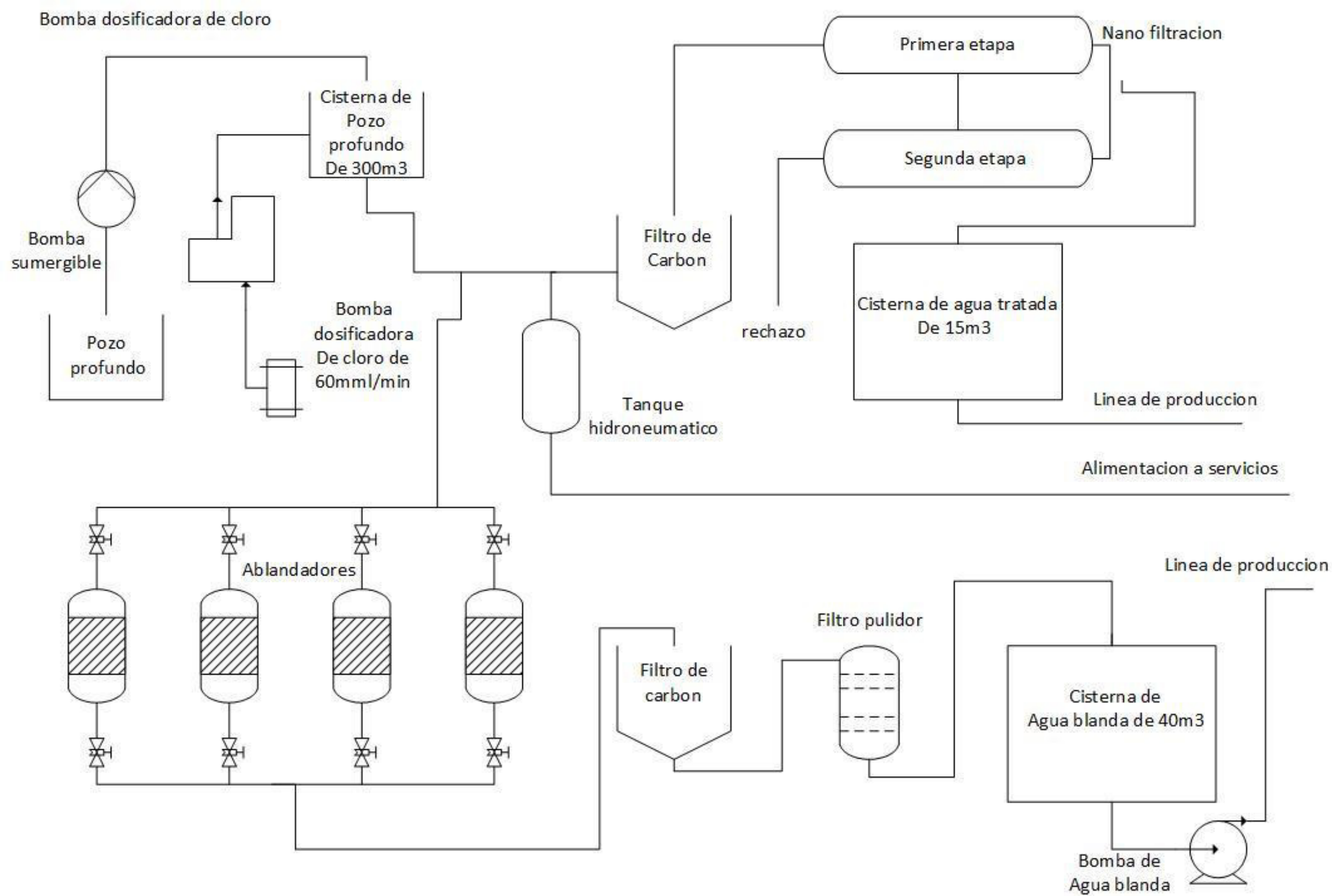


Figura 7. Sistema de tratamiento de agua cruda.

Cabina de pozo profundo, donde se encuentra una bomba sumergible para la extracción del agua cruda, a una profundidad de 80 metros al interior de la cabina se tiene una bomba de alta presión (120m³/h), asimismo se tiene una bomba dosificadora de cloro para eliminar bacterias y gérmenes al interior de la tubería.



Figura 8. Cabina de extracción de agua cruda

Bombas de distribución de agua cruda para los diferentes procesos de tratamiento de agua.

La cabina de agua cruda abastece el caudal suficiente para toda la planta a los diferentes procesos de preparación, incluso para servicios.



Figura 9. Centro de distribución para tratamiento de agua cruda

En la imagen se muestra cuatro bombas, extraen agua cruda del almacenamiento principal de suministro, se distribuyen para abastecer a la preparación de agua blanda y tratada, el proceso tiene sub procesos de ablandamiento, nano filtración, entre otros.

Se tiene un tanque hidroneumático para el envío de agua cruda para servicios. Este tanque abastece agua mediante una presión neumática, no existe bomba de abastecimiento, el consumo es poco y solo abastece a servicios generales.

Para el tratamiento de agua blanda, se tiene un filtro de carbón activado para la retención de cloro.

El filtro de carbón activado es utilizado para atrapar las moléculas de cloro en el agua, esto para evitar el deterioro de las membranas semipermeables que se encuentran al interior de los tubos Housseng que es parte del equipo ósmosis inversa, como del sistema de nano filtración.

A continuación, se muestra la imagen.



Figura 10. Filtro de carbón activado.

Periódicamente se realiza un proceso de retro lavado a este filtro para regenerar el carbón, puesto que se satura de moléculas de carbono. Este

proceso se realiza con vapor a una alta presión y una temperatura superior a los 150°C.

Se tiene un sistema de nano filtración para el proceso de agua tratada, la línea de néctares.

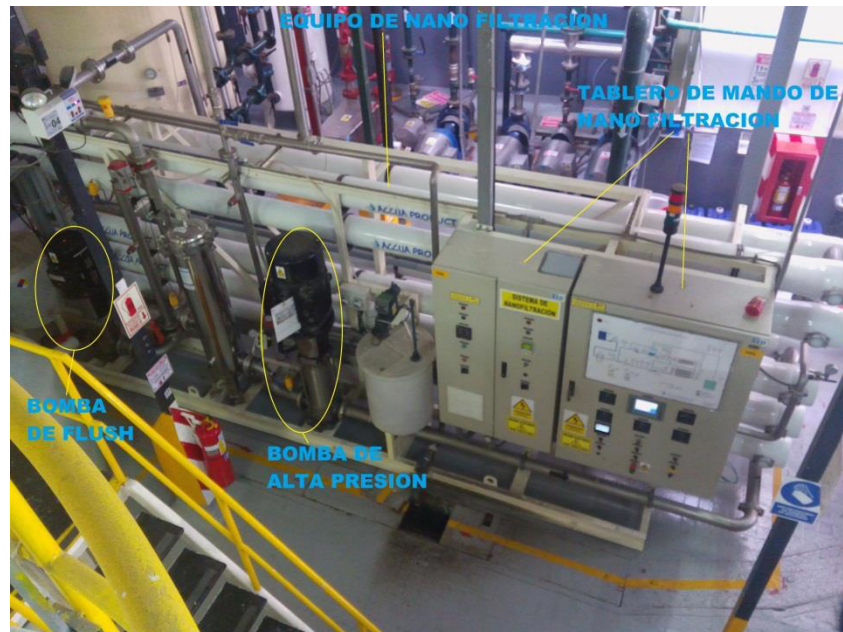


Figura 11. Sistema de nano filtración

El sistema de nano filtración es un sistema similar al de la ósmosis inversa, la diferencia radica en la porosidad de sus membranas, la diferencia es mucho mayor al del sistema ósmosis. Las membranas del sistema nano filtración atrapa sólidos reduciendo la conductividad de 5000mg/L a 1000mg/l solo para agua tratada, pero para agua blanda se requiere otro proceso, que sería el del ósmosis como ya se ha comentado.

Dentro de la preparación de agua tratada, se tiene filtros ablandadores, para la retención de iones pesados como el potasio y magnesio, esto para evitar la penetración de sarro.

Al igual que los filtros de carbón, los ablandadores también se saturan, por lo que se requiere ser regenerados con sales industriales. Este proceso se realiza cada cierta cantidad de horas.

Los ablandadores de agua también se utiliza para purificar agua hacia los calderos, para la retención de sarro.

El sarro es un agente perjudicial para los calderos, pues obstruyen los tubos evaporadores de agua.

También se utiliza unos agentes químicos para sacar el sarro que podría pasar en los tubos del sistema de nano filtración como de los calderos (esto solo en caso lo requiera por la concentración del sarro).

A continuación, se mostrará el esquema del sistema de tratamiento por ósmosis inversa e imágenes de los equipos involucrados:

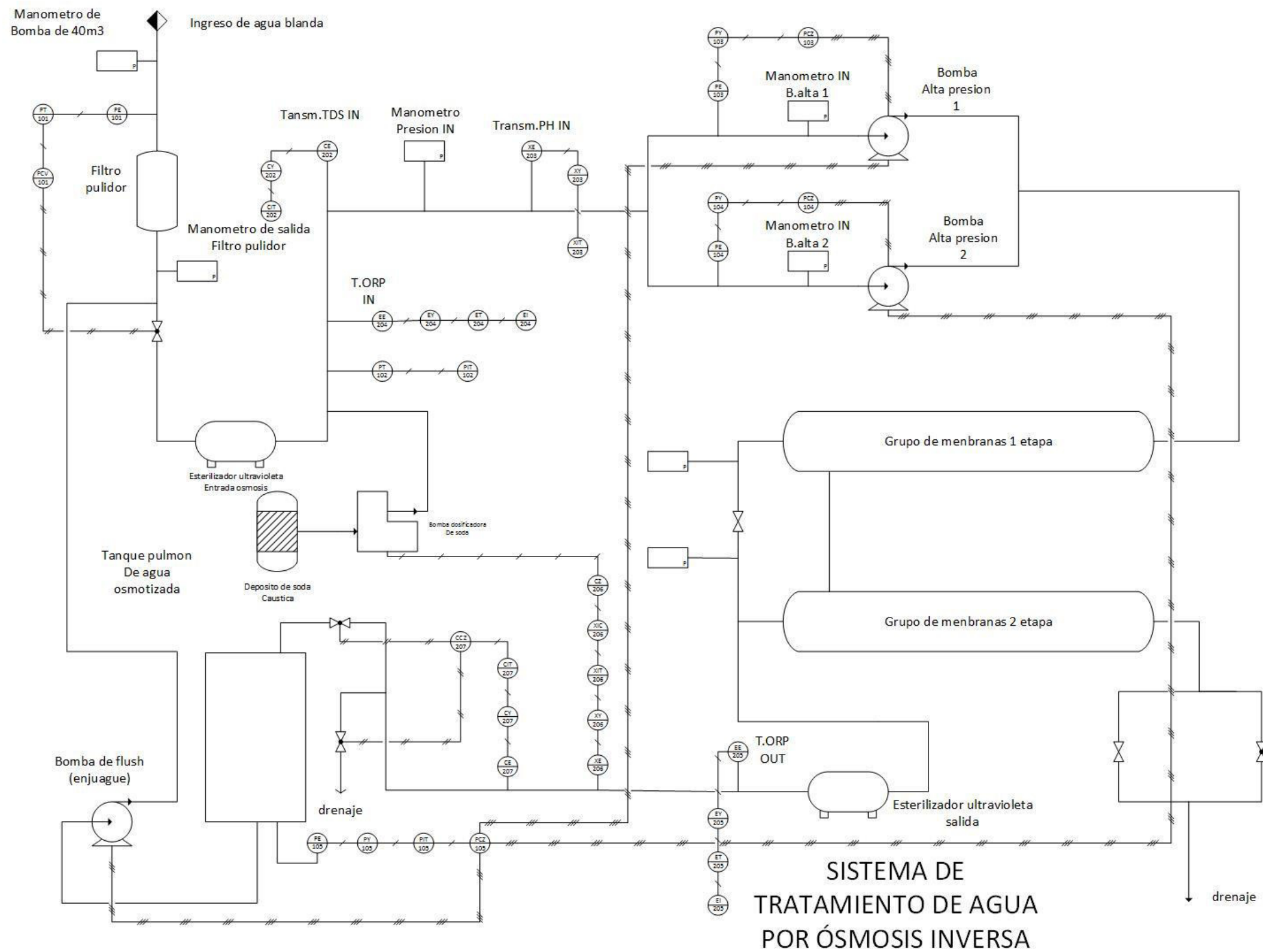


Figura 12. Sistema de tratamiento de agua blanda por ósmosis inversa.

La bomba de flush sirve para realizar un enjuague luego de osmotizar el agua, con el propósito de limpiar la membrana de una posible saturación por el concentrado del TDS, el agua de flush es derivada hacia el drenaje



Figura 13. Bomba de alta presión.

Dentro de los tubos Housen se encuentran las membranas semipermeables para la filtración de agua.



Figura 14. Membranas semi permeable.

Parte de la esterilización del agua blanda corresponde a la eliminación de vida micro orgánica, esto lo realiza los esterilizadores ultravioletas, tal como se muestra en la figura



Figura 15. Equipo esterilizador ultra violeta

Los esterilizadores UV solo se encienden cuando el equipo ósmosis inicia su trabajo, debe haber flujo de agua por la tubería para eliminar los gérmenes, además de ello para evitar que se quemem las lámparas UV.

Para romper la impenetrabilidad del agua sobre las membranas, se aplica una presión osmótica. La presión osmótica es aquella presión por el cual las moléculas de agua rompen la impenetrabilidad de las membranas semipermeables, esta presión es fundamental para el proceso de filtración, ya que de esto depende la esterilidad del agua procesada. Esto lo realizan las bombas de alta presión, tal como se muestra en la figura:



Figura 16. Bomba de enjuague flush.

Para la regulación del PH del agua, se dosifica pequeñas proporciones de soda caustica en el agua para el aumento del PH. Esto es parte del proceso. La dosificación de soda es para aumentar el PH del agua, ya que al pasar por el ósmosis, el PH tendrá a disminuir, para compensar la caída de PH, se tendrá que dosificar soda caustica para regular el PH.



Figura 17. Sistema dosificador de soda.

La soda caustica se almacena en pequeños tanques, ya que su dosificación no es mucha.

El sistema de dosificación de soda cuenta con electrodos de nivel para controlar el volumen de soda disponible en el tanque, si el nivel es bajo, automáticamente se lanza una alarma o aviso de falta de soda caustica.



Figura 18. Tablero de fuerza del equipo ósmosis inversa.

3.1.1. Proceso de pre-tratamiento de agua cruda

Dentro del proceso de pre- tratamiento del agua cruda en suministro, al agua cruda se le dosifica dosis de cloro en una proporción de 1/3ppm (partes por millón). Esto para desinfectar el agua de los gérmenes, bacterias, incluso virus.

El pozo profundo tiene un promedio de 75 a 80 metros de profundidad, lo cual internamente el agua corre como un río. A esa profundidad se ingresa una bomba sumergible de 80HP de potencia que jala un promedio 150m³/h que se abastece a toda la planta.

El agua extraída ya clorada se deposita en una cisterna de 300m³, que mediante una bomba de agua es impulsada y pasa por un filtro de carbón activado que cumple la función de retener el cloro disuelto en el agua antes de ingresar al sistema de nano filtración.

El agua ingresa al sistema de nano filtración con una conductividad (nivel de TDS) de 490-500mg/L, atraviesa todo el sistema retiene los sólidos pesados y sale con una conductividad entre 40-52mg/L. Asimismo, cabe mencionar que al ser agua pesada esta dejara sarro dentro de las membranas (iones de magnesio y potasio) para ser removido y eliminado en conjunto con el concentrado, es preciso dosificar una sustancia llamada anti incrustante en una proporción de 8.32mL/min. El concentrado del equipo de nano filtración es rechazado y enviado hacia el drenaje.

El agua saliente del equipo de nano filtración es llamada agua tratada es depositada en un tanque pulmón de 14m³, al cual se le añade una dosificación de cloro a una proporción de 1/3ppm, luego pasa nuevamente por un filtro de carbón para retener el cloro, luego pasa por un filtro pulidor para retener las impurezas y finalmente va a las líneas de producción donde preparan néctares y jugos, y para el saneamiento de las líneas correspondientes. Es preciso aclarar que el agua tratada tiene una conductividad de 52.4mg/L.

Para el proceso de tratamiento de agua blanda partimos de la cisterna de 300m³, una línea de alimentación pasa por un circuito de cuatro ablandadores, estos ablandadores tienen en su interior una capa de resina que cumple la función de retener los sólidos más pesados del agua cruda, nos referimos a los iones de magnesio y potasio, el motivo de retener estos iones más pesados es porque en el sistema posterior formara una capa gruesa de sarro que obstruirá las membranas housheng equipo de nano filtración, asimismo para las calderas también será un problema latente, es por tal motivo que se tendrá que retener con los ablandadores, dejando pasar los sólidos más pesados por ejemplo los iones de sodio.

Solo se utiliza dos ablandadores y los otros dos ya saturados por los sólidos se reactivan nuevamente haciendo circular en su interior un tipo de sal disuelta que reacciona con estos sólidos desprendiéndolo de la resina y así poniendo en servicio nuevamente los ablandadores.

El tiempo estimado de utilización de los ablandadores es de 5-6h antes de su proceso de reactivación.

Para regenerar los ablandadores saturados es necesario hacerle una limpieza química con sales industriales para reactivar los ablandadores.

Finalmente, el agua blanda pasa a una cisterna previa que alimentara a las calderas de vapor como así también a otra cisterna de agua blanda de 40m³ que a su vez alimentara a la línea de aguas.

3.1.2. Proceso de tratamiento blanda por ósmosis inversa.

A continuación, se explicará el proceso de tratamiento de agua por ósmosis inversa:

- Se enciende el equipo poniendo el sistema en modo producción.
- Se deja ingresar agua blanda desde la cisterna de 40m³ a través de una bomba de agua.
- Antes y después del filtro pulidor se tiene transmisores de presión para confirmar que haya presión suficiente para poder encender el equipo, así mismo para detectar por elevada diferencial de presión la saturación del filtro pulidor.
- Se abren las válvulas de ingreso y a la salida del filtro pulidor se tiene otro transmisor de presión que verifica la presión, si esta última tiene una presión baja manda a apagar el equipo por saturación del filtro pulidor.
- Se encienden los esterilizadores ultravioletas de ingreso y salida, para eliminar los gérmenes y bacterias en el agua, asimismo dejara pasar el agua (válvulas abiertas).
- El agua llega a la entrada de la bomba de alta presión verificando que haya presión de agua (presión mayor a los 100 psi).

- Pasa la bomba de alta con una configuración de frecuencia de 48Hz, frecuencia que generará una presión de 25psi aproximadamente, si la presión llega a los 300psi o lo sobrepasa el equipo deberá apagarse inmediatamente cerrando las válvulas para evitar dañar las membranas por una sobre presión.
- Pasa por las membranas y luego pasa por el esterilizador ultravioleta de salida para eliminar gérmenes y bacterias.
- Es enviado hacia el tanque pulmón que tiene un sensor de nivel que mide si el tanque está lleno o vacío, cuando este está lleno apaga el equipo.
- Luego se enciende nuevamente y realiza un enjuague con agua osmotizada (flush) que extrae un poco de agua osmotizada del tanque pulmón para enjuagar todo el circuito limpiando nuevamente las membranas y la salida será rechazada hacia el drenaje.
- Queda en modo espera hasta que el tanque pulmón se vuelva a vaciar y encender nuevamente el equipo y realizar el mismo proceso.

Cabe mencionar que:

El sistema cuenta con un sensor/transmisor de cloro (ORP) cuando detecta una cantidad de cloro suficiente como para dañar a las membranas, se tiene que apagar el equipo y enviar toda el agua hacia el drenaje.

Tiene transmisores de PH y conductividad tanto a la salida como a la entrada. Monitoreando el PH y conductividad, si se desvían se deberá enviar el agua al drenaje.

Para compensar la caída de conductividad a la salida y balancear el PH se le agrega dosis de soda caustica, lo cual será retenido en las membranas.

Observación:

Debe de mantener constante el flujo de agua para evitar desbalancear los niveles de PH en el agua puesto que será un punto crítico para su tratamiento.

3.2. ESTUDIO DE LAS VARIABLES DE CONDUCTIVIDAD, PH, ORP, PRESIÓN Y FLUJO INVOLUCRADOS EN EL SISTEMA

3.2.1. Estudio de la variable de PH en el agua osmotizada

Según la norma estandarizada de calidad, muestra que los niveles de PH en el agua osmotizada debe de ser neutro, es decir idealmente debe ser 7, sin embargo, existe un margen de tolerancia, lo cual podría estar entre 6.5-8.5, fuera de ese rango se considera como agua no apta para el consumo y será rechazada y enviada hacia el drenaje.

Como se podrá observar, la escala de PH del agua oscila ente 0 como niveles máximos de acides y 14 como niveles máximos de alcalinidad. El agua de por si es neutral, es decir debe de ser 7 para que sea aceptable para su consumo.

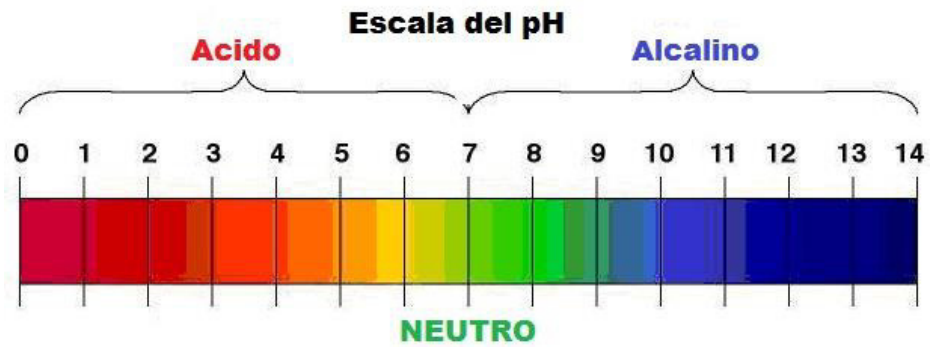


Figura 19. Escala de acidez y alcalinidad

Fuente: Instituto bioquímica y fisiología humana

Ver link: <https://www.bioquimicayfisiologia.com/2014/11/equilibrio-acido-base-concepto-de-ph.html>

Sin embargo, dentro del proceso de tratamiento de agua se ha tenido registro que, para la esterilización del agua blanda, los niveles de PH presenta ciertas desviaciones al salir del sistema de ósmosis inversa.

Como se mencionó anteriormente las desviaciones del PH se debe a los siguientes factores:

- Por las fluctuaciones en las señales analógicas de los transmisores de PH.
- Por variaciones en la dosificación de soda cáustica, alterando tanto la conductividad, pero sobre todo el PH del agua.
- Por variaciones en el flujo de agua blanda (por factores externos al sistema).
- Inestabilidad del sistema como control autónomo del RO.
- Errores de procesamiento en los sensores y transmisores.
- Errores de sensibilidad y des calibración del sensor de PH.

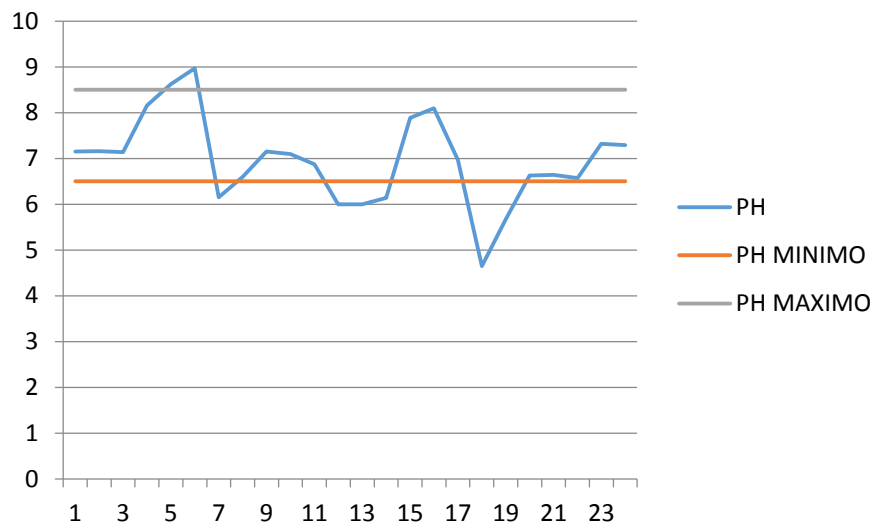


Figura 20. Primer muestreo de la variación del PH al arranque del sistema.

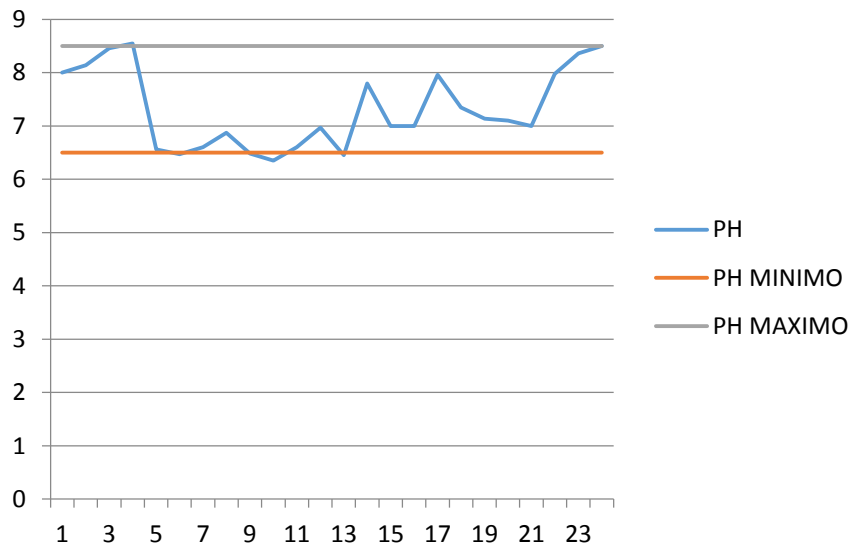


Figura 21. Segundo muestreo de la variación del PH al arranque del sistema.

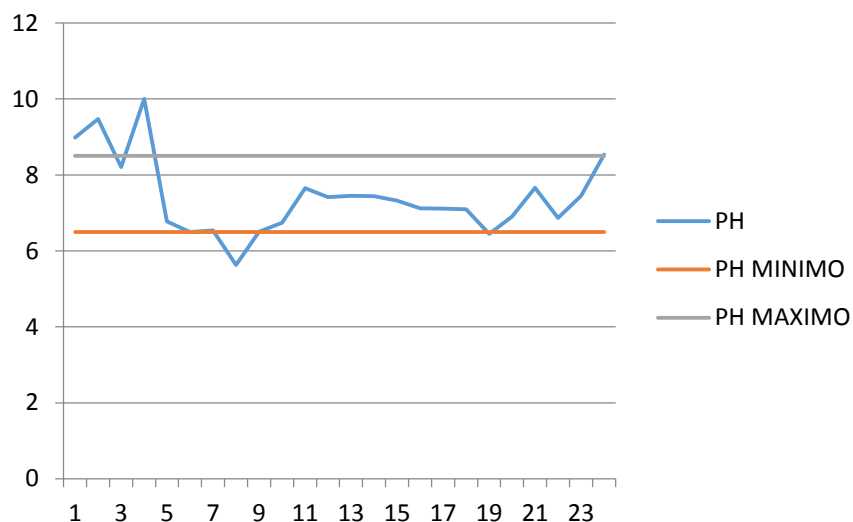


Figura 22. Tercer muestreo de la variación del PH al arranque del sistema.

Como se podrá observar los niveles de PH varia constantemente, saliendo de su rango permitido, esto es debido a que no se tiene un sistema lo suficientemente estable como para controlar las variables.

A. Solución inmediata para corregir la desviación de pH.

Como el operador está monitoreando constantemente el nivel de PH del agua a través del transmisor de PH, este buscará compensar la desviación, dependiendo si sube o baja el PH.

Si el PH del agua está bajo niveles, se procederá a subir la dosis de dosificación de manera manual de tal manera que buscará compensar el PH del agua (6.5-8.5), sin embargo, este no afectará de manera directa el TDS.

Si el nivel de PH está en altos niveles, se procederá a disminuir la dosis de dosificación de soda, de manera que pueda regular el PH a los rangos establecidos (6.5-8.5).

3.2.2. Estudio de la variable de conductividad en el agua osmotizada

Como bien sabemos, el propósito de la osmotización del agua blanda es volverla estéril, con el propósito que realizar una mezcla entre la misma y unas sales rehidratantes (jarabe) para tener producto terminado.

Se busca que el agua osmotizada tenga un nivel de TDS bajo, idealmente por debajo de 5mg/L, esto solo sería posible si las membranas semipermeables están nuevas, pero conforme este trabajando en temas de producción y saneamiento, las paredes de la membrana se van incrustando sólidos menos pesados, asimismo el diámetro de la porosidad va en aumento en pequeñísimas cantidades, por el mismo trabajo que realiza.

La conductividad es una variable que mide la cantidad de sólidos disueltos en una cierta cantidad de agua. Los sólidos podrían ser sales, iones, partículas, moléculas, incluyendo también bacterias o microorganismos

En algunos casos la medición se da en PPM (partes por millón), para nuestro caso en planta la medición se da en mg/L.

Se debe de tener en cuenta que el propósito de la ósmosis es reducir el TDS del agua (sólidos totales disueltos). De esta manera se tendría agua estéril para la preparación de bebida. Se realizó un análisis de la conductividad durante los turnos de producción y se pudo evidenciar la fluctuación del TDS debido a los siguientes factores:

- La escala de medición de los sensores y transmisores no está bien dimensionada para el flujo de trabajo del equipo (70m³/h)
- Descalibración continua de los transmisores, asimismo la calibración de la misma se debe de realizar varias veces para tener los rangos máximos y mínimos de desviación.

- Válvulas manuales y neumáticas no apertura al 100% reduciendo el flujo de agua, esto debido a que el aire comprimido muchas veces viene con partículas de agua. Esto perjudica la operatividad de actuadores, válvulas y electroválvulas.
- Respuesta lenta de los actuadores neumáticos, mala regulación de los reguladores de presión y amortiguadores en las válvulas neumáticas.
- Constantemente se presenta golpe de arieta, esto muchas veces ocasiona que los sensores se vayan aflojando sus conectores eléctricos y en algunos casos el deterioro del mismo.
- Desgaste de las membranas semipermeables, debido al continuo trabajo, a los químicos que van quemando las membranas y a la elevada concentración de cloro en el agua blanda, ocasionando que su eficiencia vaya reduciendo y se vea afectado a largo plazo.
- Bajo nivel de presión osmótica, ocasionando que los sólidos se disueltos en el agua se atrapen, pero el flujo se reduzca, alterando las otras variables.

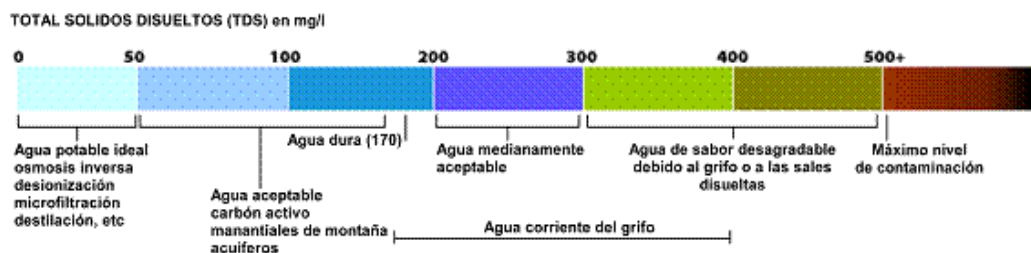


Figura 23. Escala de medición de la conductividad en fluidos.

Fuente: ODR sistemas de tratamiento de agua

Ver link: <http://www.odragua.com/es/tds-que-es-y-por-que-medirlo>

A. Solución inmediata para corregir la desviación del TDS.

Se deben de tomar ciertas acciones para corregir de manera inmediata la desviación del TDS, y así evitar la merma por rechazo de agua:

- Al activar la alarma por desviación del TDS, se bloquea el ingreso al tanque pulmón.
- Se apagan las bombas de alta presión para evitar dañar las membranas.
- Se apaga la bomba de 40m³.
- Se cierra la válvula de ingreso del filtro pulidor.
- Se revisa las presiones de saturación del filtro pulidor y realizar su cambio si así lo requiere el sistema.
- Se revisa los otros parámetros involucrados (PH, ORP, flujo)
- Se realiza un enjuague del sistema con agua osmotizada para limpiar la tubería de agua y las membranas semipermeable (enjuague de 10 minutos derivándolo hacia el drenaje).
- Realizar medición del TDS del tanque de 40m³, purgar el tanque si así lo requiere.
- Se coordina con suministro sobre la desviación, es posible que el problema venga de suministro, si es así se debe de corregir la desviación y enviar nuevamente agua blanda.
- Realizar medición del TDS dentro del sistema y validar el reinicio de la producción por parte de calidad.
- Arrancar nuevamente el sistema.

Como se observa el procedimiento para corregir bastante largo y tedioso. Todos estos pasos de corrección y reinicio de la

producción podrían tomar entre 40 minutos y 1 hora lo cual perjudica considerablemente a la producción.

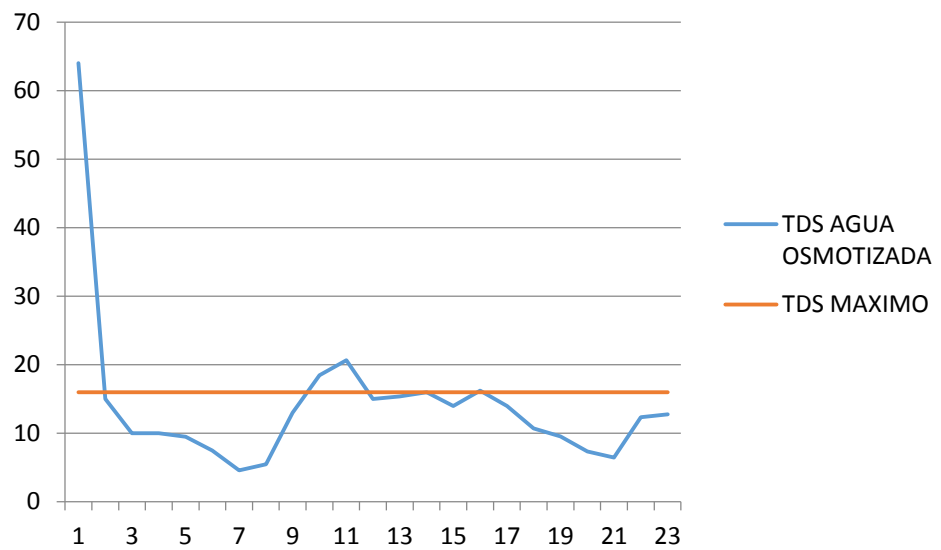


Figura 24. Primer muestreo de la variación del TDS al arranque del sistema

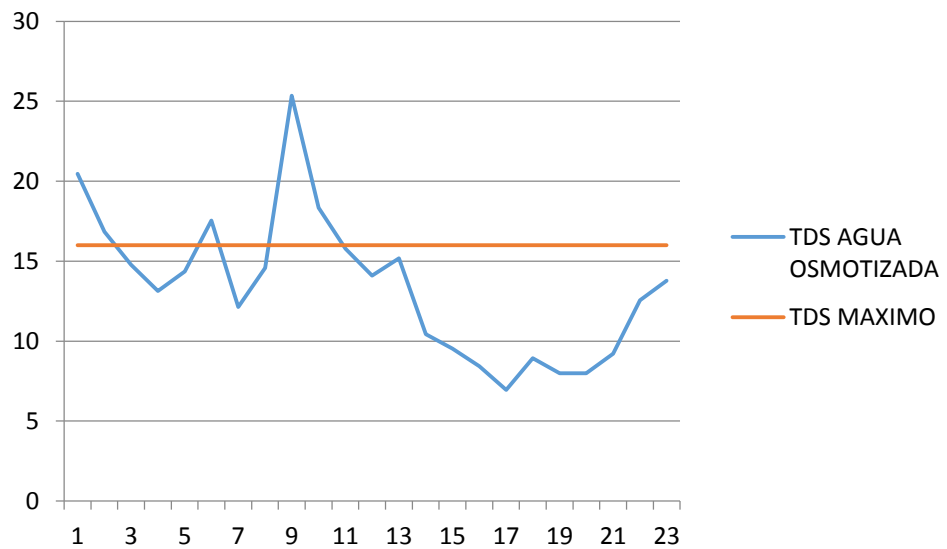


Figura 25. Segundo muestreo de variación del TDS al arranque del sistema

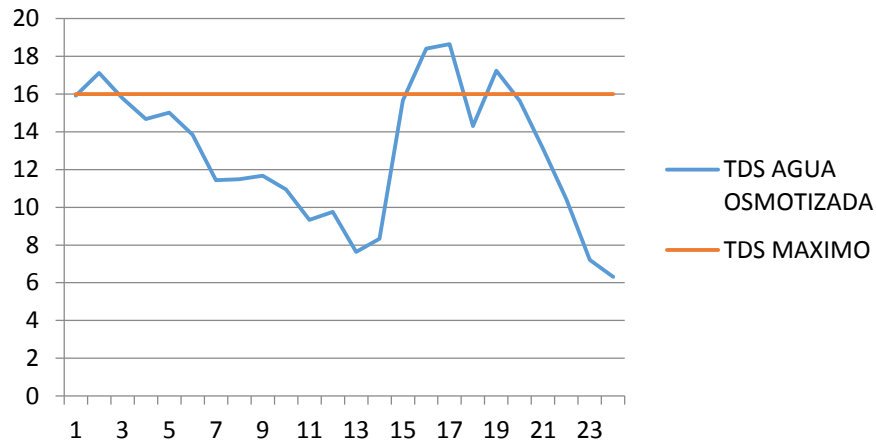


Figura 26. Tercer muestreo de variación del TDS al arranque del sistema

3.3. DETERMINACIÓN DE LOS EQUIPOS Y LA TECNOLOGÍA DE CONTROL MÁS ADECUADO PARA CONTROLAR EL SISTEMA, BUSCANDO CORREGIR LOS ERRORES DE DESVIACIÓN

Para el diseño del sistema automatizado del ósmosis inversa, se evaluó las posibles soluciones a utilizar.

Existen diversas empresas que dan soluciones a sistemas autónomos, en procesos industriales, se puede mencionar por ejemplo a SIEMENS, ABB, NATIONAL INSTRUMENT, entre otros. Estas empresas son fabricantes e importadores de sistemas y equipos de control diseñados para procesos industriales, así como también para administración de baja, mediana y alta tensión en redes eléctricas, por ejemplo, ABB y SIEMENS; estas dos empresas son líderes en el mercado mundial en la fabricación de equipos de sistemas de control de potencia y en sistemas autónomos para el control y administración de procesos industriales, por ejemplo, controladores lógicos programables (PLC), variadores de frecuencia (Micromastes y Sinamic), transformadores, entre otros.

Existen otras empresas que fabrican sensores, actuadores, transductores y transmisores para las distintas aplicaciones, por ejemplo: transmisores de presión, flujo, caudal, temperatura, medidores de PH, conductividad, entre otros. Muchos de los sistemas de control podrían solucionarse con otros sistemas por ejemplo con sistemas embebidos (microcontrolador o arduino).

Realizando un análisis para nuestro diseño y viendo las condiciones del caso se decidió optar por los PLC por los siguientes motivos:

Los PLC son equipos diseñados para trabajos en sistemas de redes eléctricas industriales, donde los efectos de ruidos eléctricos, picos de corriente-voltaje y los armónicos son continuos; caso contrario los sistemas embebidos son más vulnerables a ellos.

En plantas industriales, por norma técnica los estándares de control son, para tensión de alimentación es de 24Vdc y para señales análogas son de 4-20mA; caso contrario los sistemas embebidos es de 5Vdc para alimentación y señal digital, y 5/-5Vdc para señales análogas.

Los sensores y transmisores industriales trabajan con los estándares industriales (los mismos que utilizan los PLC). Si quisiera utilizar sistemas embebidos, se tendría que acondicionar las señales lo cual sería más tedioso.

Para nuestro caso, se trata de automatizar una secuencia de trabajo además de ello de controlar de manera autónoma variables de control, implementarlo en un arduino o micro controlador sería más tedioso, por ello en programación Ladder es una buena opción para sistemas industriales como el de mención.

caso contrario el de los PLC son más sencillos, y fácil de programar, además de ellos los comandos abarcan más funciones para proceso de señales y bancos de memoria de mayor capacidad.

Los PLC proporciona la facilidad de expandir sus periféricas de entradas y salidas sea analógicas y digitales, caso contrario los sistemas embebidos son limitados sin posibilidad de expandir.

Los PLC trabajan con protocolos de comunicación industriales, por ejemplo, profinet (Ethernet), profibus, comunicación ASI, incluso la posibilidad de comunicar con fibra óptica, lo cual no permite los sistemas embebidos.

Por las características proporcionadas por los controladores lógicos programables, se optó por ellos; sin embargo conocer la lógica y los algoritmos relacionados entre ellos facilitaría la programación, pues se trata de procesar agua, midiendo presión, flujo de agua y señales de TDS y PH; dentro de la lógica de programa existe bloque lógicos de procesamiento y escalamiento de señales análogas que realizan esta función, realizarlo con micro controladores o arduino sería muy complejo, tedioso, y además de ello abarcaría casi toda la memoria del micro controlador, a diferencia de los PLC si el programa es bastante complejo, cabe la posibilidad de expandir su memoria insertando una memoria SD d la misma familia de los PLC.

En nuestro caso usaremos de la marca SIEMENS, por los siguientes motivos.

- En la empresa embotelladora se utiliza con mayor frecuencia la marca SIEMENS.
- La lógica de programación es más amigable a comparación de los Micrologix.
- Capacidad de expandir su memoria con una memoria SD de la misma marca SIEMENS.
- Para la comunicación GPRS se acoplará un módulo de comunicación con una antena omnidireccional.

A continuación, se mencionará los equipos y sensores que se utilizará para nuestro diseño.

3.3.1. Controlador lógico programable 1215C DC-DC-DC

El controlador es de la marca SIEMENS, cuyo modelo es el 1215C de entradas y salidas digitales



Figura 27. Modulo CPU SIEMENS serie 1200

Fuente: Construnario distribuidora MAPEI

Ver link: <https://www.construnario.com/notiweb/42818/las-cpu-simatic-s7-1200-con-nuevo-firmware-recomendadas-para-nuevos-disenos-ya-estan-disponibles-en-rs#>

A continuación, se muestra tabla con los datos técnicos de equipo:

Tabla 1. Datos técnicos del autómatas programable

DATOS TÉCNICOS DEL CONTROLADOR PROGRAMABLE	
Designación del tipo de producto	CPU 1215 DC/DC/DC
Versión del Firmware	V4.2
Ingeniería con paquete de programación	STEP 7v14 o superior
Valor nominal (DC) 24Vdc	Si
Rango admisible límite inferior (DC)	20.4V
Rango admisible límite superior (DC)	28.8V
Protección contra inversión de polaridad	Si
Tensión de carga L+ valor nominal (DC)	24V
Rango admisible límite inferior (DC)	20.4V
Rango admisible límite superior (DC)	28.8V
Consumo (valor nominal)	500mA; solo CPU
Consumo máximo	1500mA; CPU con todos los módulos de ampliación

Tabla 2. Datos técnicos de procesamiento

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE LA CPU	
Para bus de fondo (5Vdc) máx.	1600mA; máx. 5Vdc para SM y CM
Alimentación de sensores 24V	L+ menos 4Vdc min
Pérdidas tipo	12W
Memoria de trabajo integrado	125 Kbyte
Ampliable	No
Memoria de carga integrada	4M byte
Enchufable (SIMATIC Memory Card), max.	Con SIMATIC Memory Card
Respaldo existente	Si
Libre de mantenimiento	Si
Sin pila	Si
Para operaciones de bits, tipo	0.085us;/ instrucción
Para operaciones de palabras tipo	1.7us;/instrucción
Para aritmética de coma flotante, tipo	2.3us;/instrucción
Nº de bloques (total)	número máximo de bloques direccionables es de 1 a 65535

Tabla 3. Datos técnicos de señales analógicas y digitales

DATOS TÉCNICOS DE SEÑALES ANÁLOGO-DIGITAL	
Número de salidas de ellas, salidas rápidas	10 4; salida de tren de impulso s 100KHz
Limitación de la sobre tensión inductiva a corte	L+(-48V)
Poder de corte de las salidas con carga resistiva máx. con carga tipo lampara máx.	0.5 ^a 5W
Tensión de salida para señal "0" máx. Para señal "1" min.	0.1V con carga de 100K ohm 20V
Intensidad de salida para señal "1" valor nominal para señal "0"	0.5 ^a 0.1mA
Frecuencia de conmutación	100KHz
Nº de entradas analógicas	2
Tensión	si
Rango de entrada 0 a +10V	si
Resistencia de entrada (0-10V)	>=K ohm
Nº de salidas analógicas	si
Rango de intensidad 0 a 20mA	si
Resolución de entre / sal	10bit
Tiempo de conversión (por canal)	625us

3.3.2. Módulo CP 1242-7

El módulo de comunicación CP 1242-7 es un dispositivo procesador de Comunicaciones que permite la transferencia de datos vía GPRS compatibles para dispositivos SIMATIC S7/1200. Se utiliza para entornos industriales, permite la transferencia de mensajes de texto a través de la red GPRS. Además, permite conectarse a redes WAN para poder comunicarse entre estaciones remotas con una estación central, la comunicación entre estaciones (comunicación cruzada) y la comunicación directa entre estaciones.

A continuación, se muestra la tabla de datos técnicos del módulo

Tabla 4. Datos técnicos de antena de telefonía móvil ANT794-4MR

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS	
Impedancia nominal	50 Ohm
Banda de frecuencia	850, 900, 1800, 1900MHz
Potencia de emisión máxima	+33dBm +-2dBm
GPRS	Clase de multislots 10 clase de equipo terminal B Esquema de codificador 1...4 (GMSK)
SMS	Modo operativo saliente: MO servicio punto a punto
Tensión de alimentación	24VDC
Rango admisible	19.2...28.8V
Consumo (típico)	De 24 VDC 100mA
Potencia activa perdida (típica)	De 24 VDC 2.4W
Temperatura ambiente de trabajo	0°C...+55°C
Humedad relativa	=< 95% a 25°C, sin condensación
Clase de protección	IP20



Figura 28. Antena de telefonía móvil para modulo procesador de datos.

Fuente: ASTI Automation

Ver link: <https://www.astiautomation.ro/product/antenna-ant-794-4mr-siemens/>

3.3.3. Transmisor de presión MBS 3000

Este dispositivo de alta precisión para la medición de presión volumétrica en fluidos MBS 3000 de la marca DANFOSS puede trabajar en condiciones bastante severas, este cuenta con un amortiguador para la suspensión del líquido si tener que tener contacto con la parte electrónica del sensor, este cuenta con una hermeticidad IP65, lo cual le da una gran eficiencia en respuesta con respecto a otras marcas.

Es resistente a altas vibraciones, lo cual presenta una gran estabilidad en sus lecturas.

A continuación, se muestra una tabla de datos técnicos del transmisor:

Tabla 5. Datos técnicos del transmisor de presión MBS3000

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS	
Presión (incl. Histéresis en línea recta)	+0.5% FS (típica) +1%FS (máx.)
Histéresis y repetitividad	<=+0.1FS
Desviación de punto cero térmico	<=+0.1%FS/10K (típica) <=+0.2%FS/10K (máx.)
Tiempo de respuesta	<4ms
Presión de sobrecarga	6xFS (máx. 1500bar)
Presión de rotura	>6xFS (máx. 2000bar)
Señal de salida	4-20mA
Tensión de alimentación	12.5V-28V
consumo de corriente	-----
Limitación de corriente	28mA
Carga conectada	RL<=0.02 ohm
Rango de temp. Del fluido	-40°C a +85°C
Rango de temp. Del compensada	0 a 80°C
Resistencia de aislamiento	>100Mohm a 100V
Estabilidad de vibración	IEC60068-2-6 IEC60068-2-34 IEC60068-2-36
Resistencia de impacto	IEC60068-2-27 IEC60068-2-32



Figura 29. Transmisor de presión Danfoss MBS3000

Fuente: Distribuidora Danfoss

Ver link: <https://www.danfoss.com/en/products/sensors-and-transmitters/dcs/industrial-pressure-transmitters/mbs-3000-series/>

3.3.4. Electrodo de PH/ORP SIGNET 2724-2726

El electrodo de PH/ORP es un sensor de medición que permite realizar la medición tanto de los niveles de PH del agua (rango de medición de acidez y/o alcalinidad del agua), así mismo también la medición de ORP, lo cual significa la cantidad de cloro disuelto en unidades volumétricas de agua.

Un sensor de temperatura PT1000 que proporciona un valor resistivo de 3Kohm que puede ser compatible con el sensor PH/ORP. Este es un sensor de propósito general para diversas aplicaciones, este tiene incorporado un NTP de $\frac{3}{4}$ de pulgadas que tiene instalado, este puede ser montado directamente en los módulos estandarizados por SIGNET para mediciones correspondientes.

A continuación, se muestra una tabla de datos del equipo:

Tabla 6. Datos técnicos de sensor de PH/ORP 2724-2726

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS	
Rango de operación	PH: 0-14
Compatibilidad	ORP +-2000mV
Sensor de temperatura	2750 electrónico (de 8900-9900; 4-20mA) con pre-amplificador PT1000 3Kohm
Tipo de conexión	¾"NTP
PH	Lamina de vidrio UHMW PE, FPM
ORP	Lamina de vidrio UHMW PE, FPM, platino
Rango de temperatura en operación	-10°C a 85°C
Rango de presión en operación	0-6.9 bar (0-100 PSI)
Temp. De trabajo recomendado	0°C a 50°C



Figura 30. Sensores / electrodos de PH y ORP

Fuente: GF Piping Systems

Ver link:

https://www.gfps.com/appgate/ecat/common_flow/10000Y/AR/es/109620/109630/109631/P108435/product.html

3.3.5. Sensor de conductividad M300

El sensor analizador de conductividad M300 es una serie del fabricante METTLER TOLEDO.

En esta oportunidad se trata de un sensor de medición de conductividad, que es un analizador de la cantidad de sólidos disueltos por unidad de volumen de un líquido, para nuestro caso se trata de agua tratada con una cierta proporción de sales, sólidos, partículas, etc., incluso partículas microbiológicas.

Cabe mencionar que este dispositivo es un sensor analizador de conductividad, cuyas mediciones se reflejan en milivoltios, por lo que las medidas tomadas para su procesamiento deberán ser convertidas en niveles de corriente (4-20mA), esto se realizará a través de un transmisor.

A continuación, se muestra una tabla de datos técnicos del sensor:

Tabla 7. Datos técnicos de sensor de conductividad M300

ESPECIFICACIONES	
Temperatura del sensor	PT1000 RTD IEC 60751, clase A
Temperatura de trabajo	+0.1°C a 25°C a excepción de sensor 4-E
Rango de temp. Medición en cable	PVC, 80°C
Max. Distancia del sensor	200ft (60m) excepto 50ft (15m) para serie 244
medición de conductividad con respecto a la distancia del agua	Mohm-cm=1/conductividad (uS/cm)



Figura 31. Sensores de conductividad.

Fuente: GF Piping Systems

Ver link:

https://www.gfps.com/appgate/ecat/common_flow/10000Y/AR/es/109620/109630/109631/P108435/product.html

Estos sensores vienen con un patrón de calibración, estos patrones muestran un nivel de conductividad predeterminada, que lo que permite es calibrar el sensor, sumergiendo el electrodo en la solución, el transmisor deberá tomar lectura del sensor, si la lectura es igual a la predeterminada por la solución, esta correcta, pero si no lo está, deberá ser calibrada nuevamente, esto se realiza desde el mismo transmisor. El producto viene con tres soluciones, que muestra el nivel máximo, mínimo e intermedio para el ajuste fino de su calibración.



Figura 32. Patrones de calibración de la conductividad.

Fuente: GF Piping Systems

Ver link:

https://www.gfps.com/appgate/ecat/common_flow/10000Y/AR/es/109620/109630/109631/P108435/product.html

3.3.6. Transmisor de conductividad SIGNET 8850

Los transmisores de la marca SIGNET ofrece una lectura y conversión de las señales provenientes de los sensores y/o electrodos analizadores, como es el caso del medidor de conductividad, estos muestran una alta resolución y eficiencia en las tomas de lecturas de las mismas, convirtiendo la señal emitida por los sensores (sea en mili voltios o en ohmios), a señales de voltaje y/o corrientes, estandarizados en los sistemas de proceso automatizado, asimismo lleva un sistema de configuración de alarmas, avisos, registros de señales etc.

Estos transmisores ofrecen un nivel de error menor al 2% y permite realizar calibración de medida, en conjunto con el sensor.

A continuación, se muestra la tabla de datos técnicos del transmisor:

Tabla 8. Datos técnicos de transmisor de conductividad Signet 8850

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS	
General	Compatibilidad de electrodos alfanumérico 2x16 LCD contraste de 5 niveles
Material	Carcasa PBT
Alimentación eléctrica	12V a 24 V +- 10% regulada
Conductancia	0.055 a 400000 uS/cm
resistividad	10Kohm a 18.2 Mohm
TDS	0.023 a 200000ppm
tipo de sensor	PT1000 de -25°C a 120°C open collector, 50mA con resistencia pull-up histéresis ajustable máx. 400pulsos/min 4-20mA
Corriente de salida	50 ohm máx. 12V 325 ohm máx. 118V 600ohm máx. 24V
tipo de salida de señal	mecánico contacto SPDT
Max. Voltaje	30Vdc 250Vac-5ª



Figura 33. Panel de registro de la conductividad.

Fuente: Distribuidor Instrumart

Ver link: <https://www.instrumart.com/products/20742/gf-signet-8850-conductivity-resistivity-transmitter>

3.3.7. Transmisor de flujo SIGNET 8550-3

El transmisor de flujo permite realizar mediciones sobre el flujo de agua, la cantidad de volumen de agua que pasa por unidad de área, el sensor de flujo emite señales del flujo en mediciones de milivoltios, el transmisor convertirá las señales en señales estandarizadas en corriente o voltaje.

A continuación, se mostrará la tabla de datos técnicos del transmisor:

Tabla 9. Datos técnicos del display de transmisor de flujo Signet 8550-3

ESPECIFICACIONES	
GENERAL	
Carcasa	PBT
Display	2x16 LCD
Contraste	5 niveles
Sensibilidad térmica	+/-0.005% de lectura por ° C

Tabla 10. Datos técnicos del transmisor de flujo Signet 8550-3

DATOS ELECTRICOS	
Alimentación rango	12V a 24V +-10% regulada 100mA 0.5 a 1500Hz
Consumo del sensor	2 líneas 0.5mA 5Vdc +-1% de 3 a 4 líneas 20mA 5Vdc +-1%
Max. Impedancia	50 ohm máx. 12V
	325 ohm máx. 18V
	600 ohm máx. 24V
Temp. Operación	-10°C a 70°C
Temp. de almacenamiento	-15°C a 80°C
tiempo de actualización exactitud	100ms +-0.03mA

3.4. ESQUEMATIZACIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL AUTOMATIZADO PARA EL PROCESO DE TRATAMIENTO DE AGUA POR ÓSMOSIS INVERSA

3.4.1. Red de alimentación al sistema

Para el diseño del proyecto se tomó en consideración el consumo de corriente que demandará el proyecto, tanto para la CPU, para sus módulos de señales como para el de comunicación, el touch panel HMI, y para el simulador del controlador PID.

Se implementó una fuente de alimentación SIEMENS modelo SITOP de 20 A, capacidad suficiente como para abastecer a todo el sistema, se consideró en un principio una de 5 A, pero esta iba a estar al límite de su capacidad, donde se podría tener el riesgo de sobrecargar y por ende quemarse, asimismo podría haber fallas en el sistema.



Figura 34. Fuente de alimentación SITOP

Fuente: Distribuidor RS

Ver link: <https://es.rs-online.com/web/p/fuentes-de-alimentacion-de-montaje-en-panel-y-carril-din/4517079/>

Esta fuente SITOP tiene una particularidad, que puede regularse su salida de 24V a 28V, además de ello que si por condiciones de sobrecarga, se requiere abastecer con otra fuente de alimentación más, este se sincroniza automáticamente con una similar, evitando distorsiones a su salida, y descompensación de corriente.

Esta fuente cuenta con una entrada a línea tierra para evitar el ruido eléctrico y protección con picos de tensión. Protegiendo así la carga consumible, una línea neutra en caso la alimentación principal sea del tipo estrella si es línea trifásica. Para nuestro caso es de entrada 220V monofásico. Estos modelos cuentan con línea trifásica y monofásica, tanto para red de 220V como para 440V.

Estas fuentes cuentan con un filtro del tipo EMMI para suprimir los picos de tensión y corrientes, para proteger tanto la fuente como la carga eléctrica; cabe mencionar que estos equipos son diseñados para trabajar en condiciones extremas de temperatura, humedad y en sistemas de red eléctrica donde suele presentar parásitos como ruido eléctrico, armónicos picos de tensión y corriente, usualmente en pantas industriales donde la red eléctrica está contaminada con los agentes mencionados anteriormente, es por ello que SIEMENS fabrica fuentes de alimentación del tipo switching, por ser más compactos, con capacidad de entregar mayor potencia en un equipo de menor tamaño con un sistema de protección eficiente, para poder proteger equipos de control sensibles a los efectos de una red de alimentación contaminada como los armónicos y ruido eléctrico.

El filtro EMMI está compuesto por un arreglo de bobinas y capacitores que permite dar pase a la tensión eléctrica (frecuencia de 60Hz aprox.) y suprimir los ruidos eléctricos y armónicos (frecuencia superior a 1KHz), de manera que las señales de altas frecuencias son derivadas hacia la línea tierra que tiene la fuente de alimentación, de esta manera evita que estas señales pasen hacia los equipos que son alimentados por la fuente.

Analicemos las siguientes imágenes:

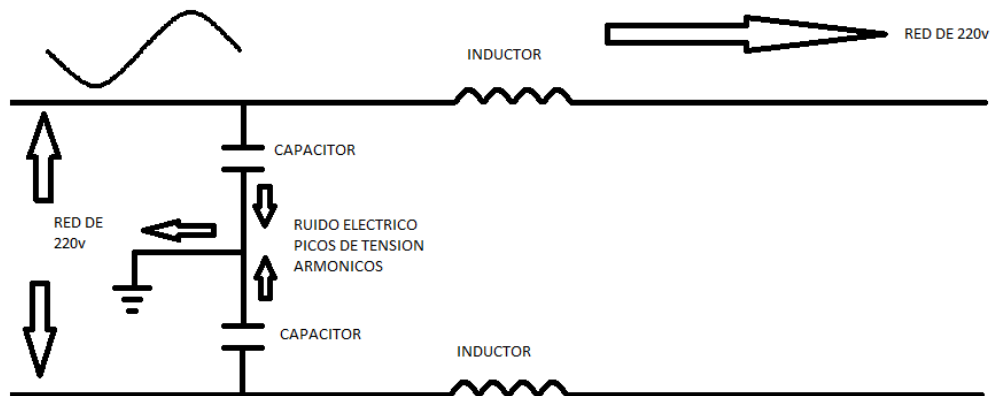


Figura 35. Filtro de tensión de la fuente SITOP

Se muestra el esquema del principio de funcionamiento del filtro EMMI, como se podrá observar este cuenta con un arreglo de bobinas y condensadores, estos filtros responden de manera diferente a

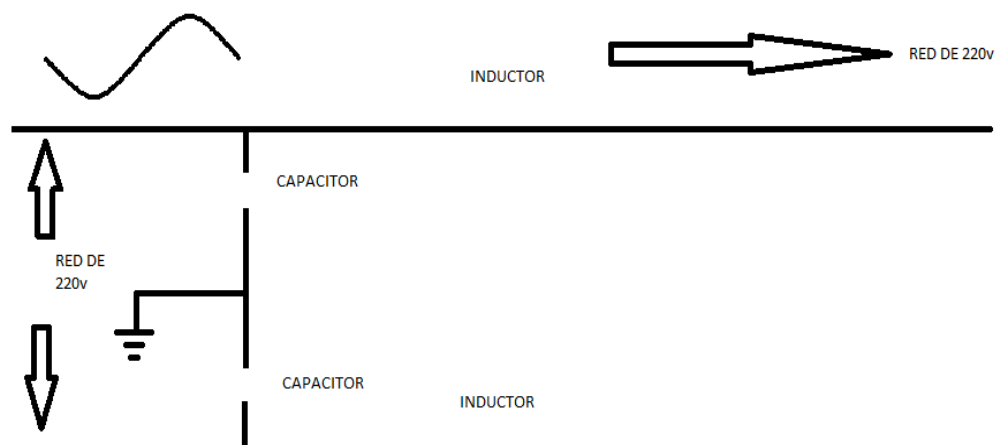


Figura 36. Respuesta del filtro a baja frecuencia.

señales de alta o baja frecuencia, como bien se sabe la señal de la red eléctrica suele presentar señales parasitas de alta frecuencia que son el ruido eléctrico, armónicos, picos de tensión. Estas señales generan distorsión en los equipos electrónicos, alterando su sistema de trabajo, en caso de controladores lógicos, alteran señales, datos incluso variables y bit, en el caso de nuestro PLC; por ejemplo, en los televisores se visualiza una imagen lluviosa producto del ruido que se

filtra en la red. Estos filtros suprimen dicha señal derivándola a una línea tierra de alta conductividad y baja resistencia.

En la imagen se observa que frente a una señal de baja frecuencia (red de 220V) los capacitores se comportan como circuito abierto y las bobinas como un conductor, de tal manera que se da pase a que la red eléctrica siga su curso.

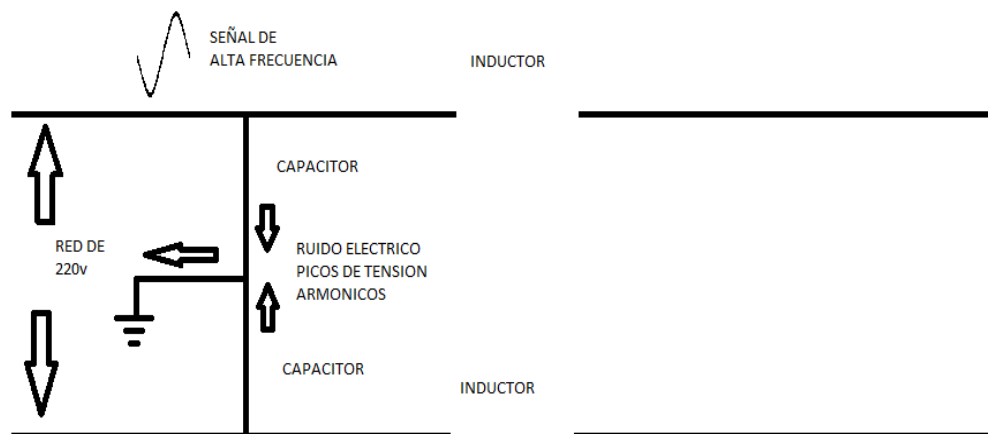


Figura 37. Respuesta del filtro a alta frecuencia.

3.4.2. Identificación de las entradas y salidas de la CPU

Una vez definido los equipos y sistema que se implementará se procederá con el desarrollo del proyecto. Se deberá definir claramente las señales eléctricas, y análogas que se deberá conectar al controlador electrónico, asimismo las entradas y salidas digitales programadas en el programa Ladder del proyecto.

El programa a desarrollar, el cual será cargado a la memoria interna de la CPU estará escrito en un lenguaje Ladder, el cual contará con la descripción de las entradas y salidas, tanto analógica como digitales. Ellas mismas están direccionadas como entradas booleanas y también como marcas, las entradas y salidas digitales como entradas físicas, pero a su vez direccionadas hacia bloques de escalamiento y normalización para las lecturas de las variables.

Las entradas digitales físicas se designan con la letra “I” y las salidas con la letra “Q”; asimismo para el caso de las señales analógicas, sea el caso de las entradas se designa como “IW”, y para las salidas “QW”.

El tipo de CPU integrado en el plc es DC/DC/DC, el cual indica que requiere de una alimentación de 24VDC, entradas digitales de 24VDC y de salidas del tipo transistor con señal de 24VDC.

Para el caso de las entradas digitales, una señal de 24VDC en dicha entrada, indica un “1” lógico en el programa; asimismo para el caso de una señal de 0 VDC en dicha entrada representa un “0” lógico. Estas señales podrían provenir de sensores, pulsadores, conmutadores, switch, pulsadores con parada de emergencia, incluso de otro controlador.

Tener presente a la hora de la conexión eléctrica, respetar la codificación de colores para los cables provenientes de los sensores, puesto que dentro de la ingeniería de procesos los cables que provienen de un sensor tienen colores, y estos indican el tipo de señal es:

- Cable color marrón: señal positiva.
- Cable color azul: señal negativa o tierra.
- Cable color verde: señal.
- Cable color amarillo: punto a tierra.

Para la designación de las variables digitales, se normalizo de la siguiente manera:

LISTA DE ENTRADAS DIGITALES DIRECCIONADAS AL CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMABLE

Tabla 11. Lista de entradas digitales al CPU

<i>I/O</i>	<i>Dirección</i>	<i>Tag</i>	<i>Descripción de línea 1</i>	<i>Módulo</i>	<i>Señal</i>	<i>Alimentación</i>	<i>Conexión</i>	<i>Min</i>	<i>Max</i>	<i>Unidades</i>
DI_a	I0.0	LEC_100_05	arranque del sistema	X10	0-24VDC	2 hilos	1M/DI0.0	0	24	VDC
DI_a	I0.1	LEC_101_05	parada del sistema	X10	0-24VDC	2 hilos	1M/DI0.1	0	24	VDC
DI_a	I0.2	LEC_102_05	confir_esterilizador_OUT	X10	0-24VDC	2 hilos	1M/DI0.2	0	24	VDC
DI_a	I0.3	LEC_103_05	confir_bomba alta_1	X10	0-24VDC	2 hilos	1M/DI0.3	0	24	VDC
DI_a	I0.4	LEC_104_05	confir_bomba alta_2	X10	0-24VDC	2 hilos	1M/DI0.4	0	24	VDC
DI_a	I0.5	LEC_105_05	confir_bomba flush	X10	0-24VDC	2 hilos	1M/DI0.5	0	24	VDC
DI_a	I0.6	RESERVA		X10	0-24VDC	2 hilos	1M/DI0.6	0	24	VDC
DI_a	I0.7	RESERVA		X10	0-24VDC	2 hilos	1M/DI0.7	0	24	VDC
DI_b	I1.0	RESERVA		X10	0-24VDC	2 hilos	1M/DI1.0	0	24	VDC
DI_b	I1.1	RESERVA		X10	0-24VDC	2 hilos	1M/DI1.1	0	24	VDC
DI_b	I1.2	RESERVA		X10	0-24VDC	2 hilos	1M/DI1.2	0	24	VDC
DI_b	I1.3	RESERVA		X10	0-24VDC	2 hilos	1M/DI1.3	0	24	VDC
DI_b	I1.4	RESERVA		X10	0-24VDC	2 hilos	1M/DI1.4	0	24	VDC
DI_b	I1.5	RESERVA		X10	0-24VDC	2 hilos	1M/DI1.5	0	24	VDC

LISTA DE SALIDAS DIGITALES DIRECCIONADAS AL CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMABLE

Tabla 12. Lista de salidas digitales conectadas a la CPU

<i>i/o</i>	<i>dirección</i>	<i>tag</i>	<i>descripción de línea 1</i>	<i>módulo</i>	<i>señal</i>	<i>alimentación</i>	<i>conexión</i>	<i>min</i>	<i>máx.</i>	<i>unidades</i>
DQ_a	Q0.0	SC_200_06	bomba_flush	X12	0-24VDC	2 hilos	4M/DQ0.0	0	24	VDC
DQ_a	Q0.1	SC_201_06	bomba dosificadora de soda	X12	0-24VDC	2 hilos	4M/DQ0.1	0	24	VDC
DQ_a	Q0.2	SC_202_06	bomba alta 1	X12	0-24VDC	2 hilos	4M/DQ0.2	0	24	VDC
DQ_a	Q0.3	SC_203_06	bomba alta 2	X12	0-24VDC	2 hilos	4M/DQ0.3	0	24	VDC
DQ_a	Q0.4	SA_204_06	bomba de 40m3	X12	0-24VDC	2 hilos	4M/DQ0.4	0	24	VDC
DQ_a	Q0.5	SA_205_06	esterilizador UV_entrada	X12	0-24VDC	2 hilos	4M/DQ0.5	0	24	VDC
DQ_a	Q0.6	SA_206_06	esterilizador UV_salida	X12	0-24VDC	2 hilos	4M/DQ0.6	0	24	VDC
DQ_a	Q0.7	SA_207_06		X12	0-24VDC	2 hilos	4M/DQ0.7	0	24	VDC
DQ_b	Q1.0	RESERVA	STAR	X12	0-24VDC	2 hilos	4M/DQ1.0	0	24	VDC
DQ_b	Q1.1	RESERVA		X12	0-24VDC	2 hilos	4M/DQ1.1	0	24	VDC

LISTA DE ENTRADAS Y SALIDAS ANALÓGICAS DIRECCIONADAS AL CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMABLE

Tabla 13. Lista de entradas y salidas analógicas conectadas a la CPU

<i>I/O</i>	<i>Dirección</i>	<i>Tag</i>	<i>Descripción de línea 1</i>	<i>Módulo</i>	<i>Señal</i>	<i>Alimentación</i>	<i>Conexión</i>	<i>Min</i>	<i>Max</i>	<i>Unidades</i>
-----	-----	-----	T/P_ingr.filtro pulidor	X11	4mA-20mA	3 hilos	-----	4	20	mA
-----	-----	-----	T/P_esterilizador_IN	X11	4mA-20mA	3 hilos	-----	4	20	mA
-----	-----	-----	T/ORP_IN	X11	4mA-20mA	3 hilos	-----	4	20	mA
-----	-----	-----	T/TDS_IN	X11	4mA-20mA	3 hilos	-----	4	20	mA
-----	-----	-----	T/PH_IN	X11	4mA-20mA	3 hilos	-----	4	20	mA
-----	-----	-----	T/P_bomba alta 1	X11	4mA-20mA	3 hilos	-----	4	20	mA
-----	-----	-----	T/P_bomba alta 2	X11	4mA-20mA	3 hilos	-----	4	20	mA
-----	-----	-----	T/ORP_OUT	X11	4mA-20mA	3 hilos	-----	4	20	mA
AI_0	%IW96	LAC_301_07	nivel PH_salida	X11	4mA-20mA	3 hilos	3M/A6.0	4	20	mA
AI_1	%IW98	LAC_302_07	nivel TDS_salida	X11	4mA-20mA	3 hilos	3M/A6.1	4	20	mA
AI_2	%IW100	LAC_303_07	nivel tanque	X11	4mA-20mA	3 hilos	3M/A6.2	4	20	mA
AQ_0	%QW64	LAC_304_07	dosificación de soda	X11	4mA-20mA	3 hilos	3M/A6.2	4	20	mA
-----	-----	-----	T/P_TK pulmón	X11	4mA-20mA	3 hilos	-----	4	20	mA

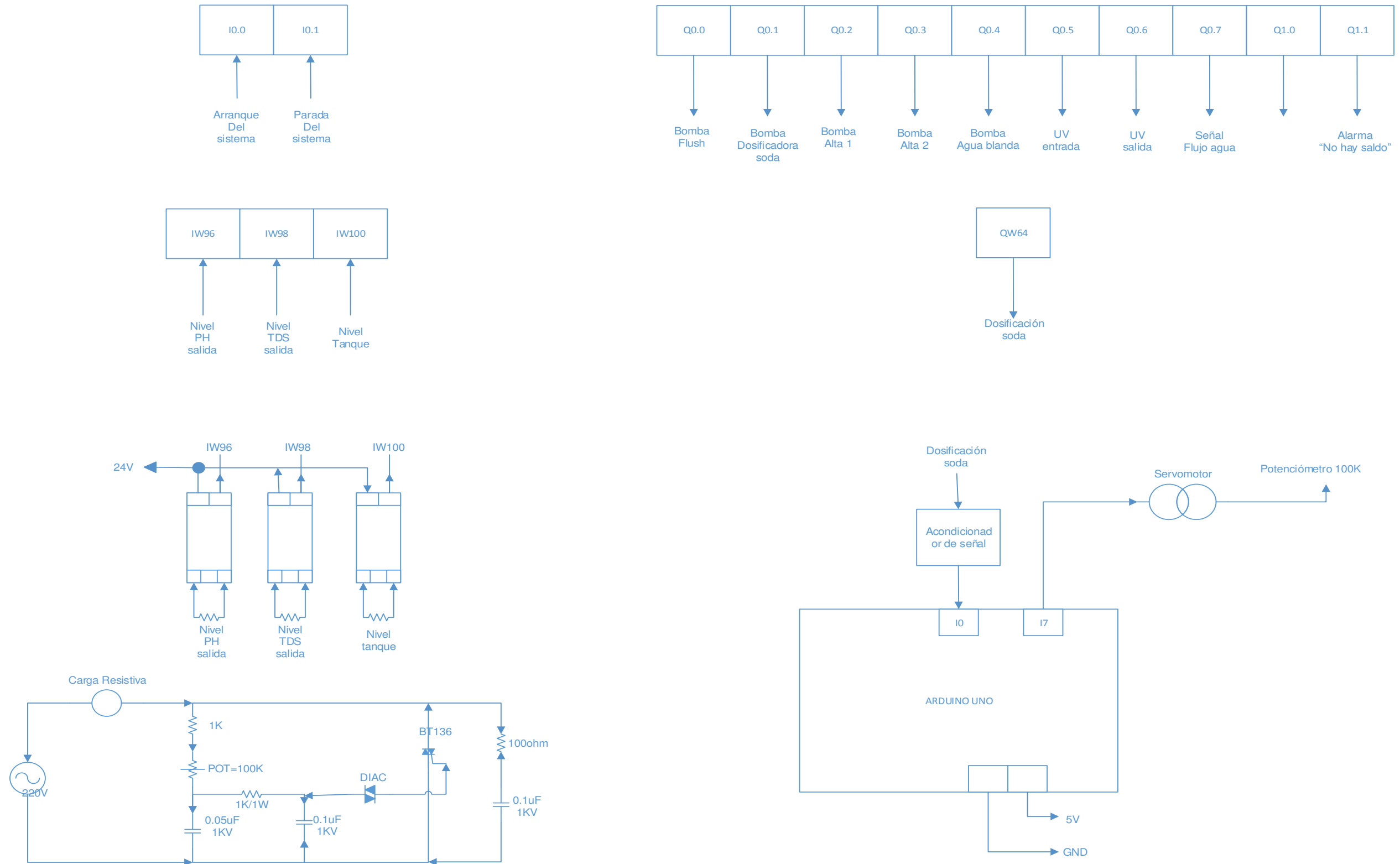


Figura 38. Diagrama de conexión del prototipo.

3.4.3. conexión de las entradas y salidas digitales

Las entradas digitales en nuestro proyecto, son señales eléctricas de 24V provenientes de sensores o contactos secos que provienen de los esterilizadores ultravioleta que tiene el sistema implementado, como nuestro sistema es un sistema controlado, por ello el programa debe de tener señales de confirmación que indique la activación de cada una de sus señales, por ejemplo el sistema arranca cada uno de los procesos, se enciende los esterilizadores UV, pero el mismo sistema debe de tener una señal de confirmación que los esterilizadores UV se encuentran encendidos, es por ello que los esterilizadores UV, le devuelve una señal de confirmación a través de un relé o un contactor, es decir una señal de contacto seco que le indique al PLC “ los esterilizadores se encuentran encendidos”. Lo mismo sucede con el arranque de la bomba de alta, de flush y de las electroválvulas neumáticas.

Para el caso de sensores, solo se tiene transmisores de señal análoga. Las electroválvulas son comandadas por señales de 24VDC, estas no pueden ser activadas de manera directa el PLC, ya que la corriente necesaria para activarlas es superior a la que puede entregar las salidas del PLC, es por ello que se tiene que hacer un arranque en bloque.

El arranque en bloque busca que una señal de baja capacidad de corriente active a otro componente de mayor capacidad, es por ello que, para activar las electroválvulas, primero se deberá activar a un relé de baja capacidad y este a su vez activará a otro relé de mayor capacidad y de esta manera la electroválvula se activará con una señal proveniente del PLC de baja capacidad.

Como todo el sistema de control trabaja con tensión continua de 24VDC la tierra será común para todos, solo en el caso que las electroválvulas trabajen con 220V se tendrá que acondicionar un relé o contactor para su arranque.

Para el sistema neumático se tendrá una presión de aire de 45 PSI provenientes de la sala de suministro, para ello todo el sistema neumático debe tener un filtro de aire para retener posible filtración de aceite y humedad. Esto deteriora las electroválvulas y los actuadores neumáticos, los hace lentos a su trabajo y malogra los empaques internos de estos. Puede ocasionar también el soplo o fuga de aire de los o' ring de sellado de las electroválvulas. Generalmente se realiza lubricación interna de estos con aceite neumático "Morlina", aceite lubricante para sistema neumático.

Para la presentación y simulación de nuestro proyecto las entradas digitales serán presentadas por medios de pulsadores normalmente abierto, conectados a 24VDC, cuando estos sean activados mandará una señal de 24VDC a la entrada del PLC.

Y para las salidas digitales, estas serán conectadas a una bornera en bloques y estos a su vez a un grupo de relés de 24VDC.

3.4.4. Conexión de las entradas y salidas analógicas

Como se explicó en su momento, las señales analógicas son señales que varían en el tiempo y que un sistema codificador la procesa y se toma como muestra para un proceso determinado. En los sistemas de automatización estas se presentan en dos formas: en corriente y en tensión. En caso se presente en corriente, estas pueden variar de 4mA hasta 20mA o sino de 0mA hasta 20mA. En el caso sea de tensión varían de 0 hasta 10V y en algunos casos de -10V hasta 10 V (para las entradas de los PLC).

En el sistema de ósmosis inversa los sensores y/o transductores toman la muestra del producto y la convierten en señales de mili voltios (mV). Esta señal pasa a los transmisores, procesan la señal y la emiten a señales de 4mA a 20mA.

Las señales analógicas de los transmisores (señales de 4 a 20mA) ingresan a las entradas analógicas del PLC, y son procesadas por un

algoritmo matemático dentro de la lógica programada en un lenguaje Ladder del software TIA PORTAL. Las señales son procesadas por medio de un bloque de escalamiento y normalización. De esta manera esta lista para ser procesada dentro del programa, según las necesidades del caso.

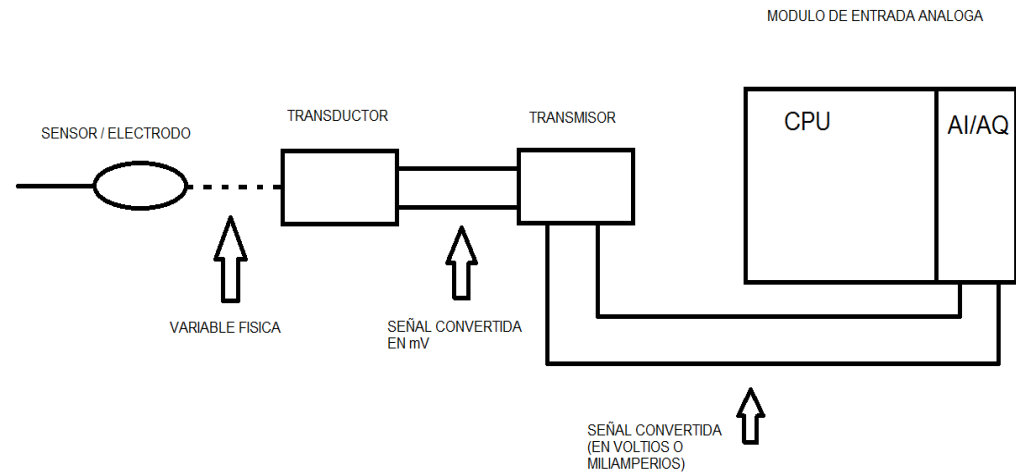


Figura 39. Diagrama de bloque de conexión de las interfaces análogas.

Existen otros sensores que tiene todo integrado como es el caso de los transmisores de presión que se usará en nuestro proyecto. Estos transmisores internamente convierten la presión en valores resistivos de ohmios y van a un convertidor de señal que emiten señales de 4 a 20mA.

Para la simulación en nuestro proyecto se implementará un transmisor de temperatura, el cual se necesitaría un sensor de temperatura que sería una PT100, este solo será usado para el control del PH; para el caso del TDS y el nivel del tanque, se utilizará un potenciómetro de precisión.

Para el control y la simulación del control de nivel y la variación de la conductividad, es decir la medición del TDS, se usará un potenciómetro de precisión de un rango de 200 ohm, puesto que los potenciómetros reemplazarían a los sensores de temperatura que estarían conectados a los transmisores de temperatura. Estos

transmisores a su vez le envían las señales análogas a los módulos de entrada que estarían conectados al CPU del PLC.

Estos transmisores tienen la particularidad de medir en escala la temperatura medida en el bulbo de los sensores PT100, manejan un rango de temperatura que son convertidos en valores resistivos, es decir la resistencia interna de los sensores PT100 varían de manera proporcional a la temperatura que este alcanza a medir. Se muestra la siguiente gráfica.

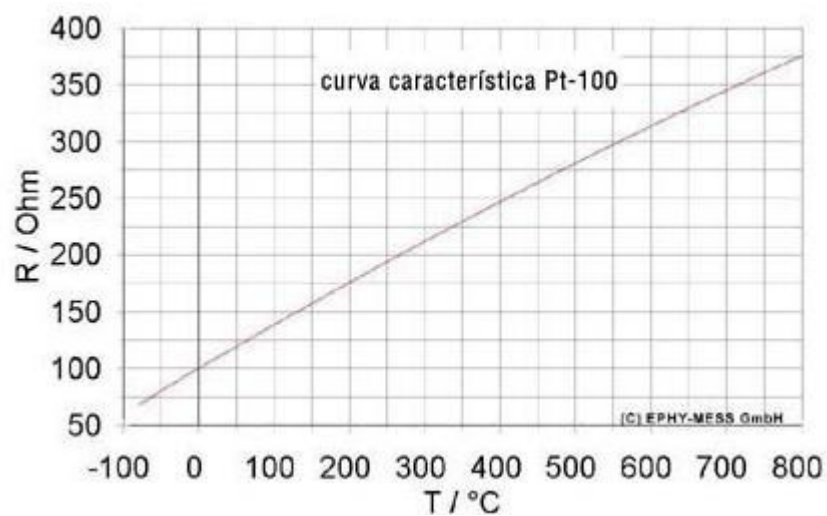


Figura 40. Escala de medición de sensores PT100

Fuente: Aplus norcontrol

Ver link:

http://www.sapiensman.com/medicion_de_temperatura/termorresistencias.htm

En la imagen se muestra la curva característica de la PT100 en relación a sus valores resistivos.

Tabla 14. Valores resistivos en relación a la temperatura medida de la PT100

Temperatura °C	Valores básicos IEC751 ohm	Tolerancia para termo resistencias según IEC 751			
		Clase A		Clase B	
		ohm	°C	ohm	°C
-200	18.49	+/-0.24	+/-0.55	+/-0.56	+/-1.3
-100	60.25	+/-0.14	+/-0.35	+/-0.32	+/-0.8
0	100	+/-0.06	+/-0.15	+/-0.12	+/-0.3
100	138.50	+/-0.13	+/-0.35	+/-0.3	+/-0.8
200	175.84	+/-0.2	+/-0.55	+/-0.48	+/-1.3
300	212.02	+/-0.27	+/-0.75	+/-0.64	+/-1.8
400	247.04	+/-0.33	+/-0.95	+/-0.79	+/-2.3
500	280.90	+/-0.38	+/-1.15	+/-0.93	+/-2.8

Como se puede observar en la curva característica de la PT100, la respuesta de su resistencia interna es casi proporcional a la temperatura que mide dicho sensor; asimismo el cuadro adjunto nos muestra los valores admisibles que este presenta para los valores de temperatura de 100°C, 200°C, etc.; así también para los valores de temperatura bajo 0°C.

En la imagen adjunta se muestra la conexión de los sensores PT100 con los transmisores de temperatura.

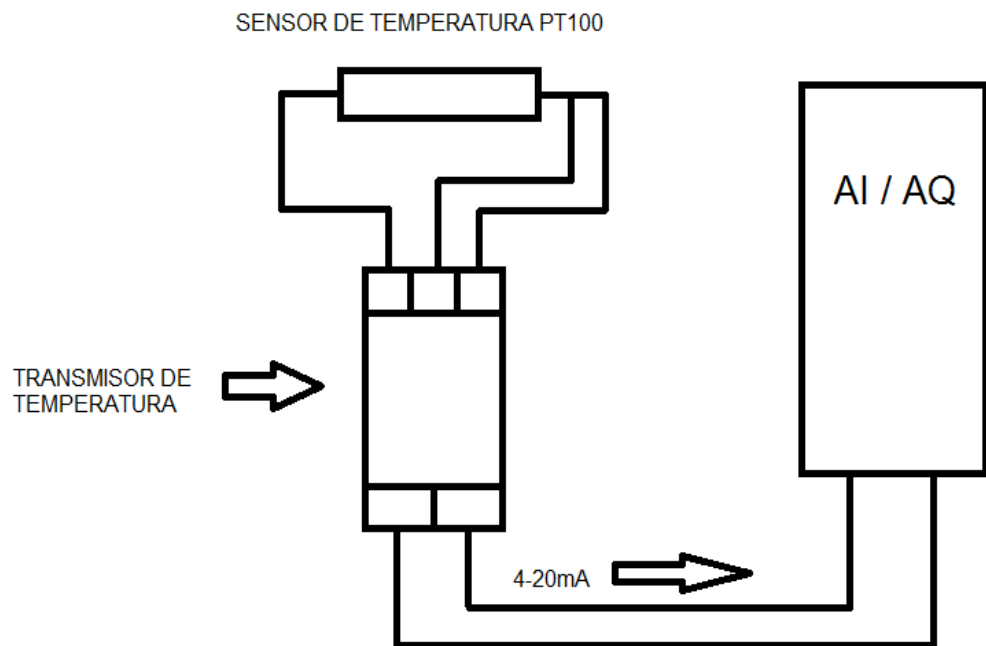


Figura 41. Diagrama de conexión de sensor PT100 al módulo análogo.

En la figura 46 se muestra la manera correcta de conectar el sensor PT100 con el transmisor de temperatura y la salida de corriente del mismo hacia en módulo de entrada analógica.

Cabe mencionar que para la presentación de nuestro proyecto se utilizará este método en reemplazo de los transmisores de PH, ya que necesitaríamos una planta diseñará para su presentación, de esta manera se realizará la implementación del proyecto.

Los transmisores de temperatura generalmente tienen dos potenciómetros de precisión uno para el ajuste de la ganancia y otro para el ajuste del ZERO.

El ajuste del ZERO generalmente se realiza cuando hay una desviación de los valores mínimos y máximos en la salida de 4-20mA, es decir que para una mínima lectura del sensor este debería enviar 4mA y para una máxima 20mA. Esta regulación se realiza cuando la desviación no se corrige con la configuración en el algoritmo del

programa, en este caso sería por medio de los bloques de escalamiento y normalización en el programa del PLC. Si esta desviación se da desde el hardware, entonces solo queda ajustar desde el transmisor. Generalmente no se realiza este ajuste puesto que viene regulado de fábrica.

Lo mismo sucede para el ajuste de la ganancia, este permite ajustar los valores proporcionales de salida en función a la entrada medible del sensor. También viene regulado de fábrica.

Estos ajustes no es recomendable realizarlo, puesto que una mala regulación hará que los transmisores trabajen de marea errónea en el proceso de control.

Para nuestro proceso utilizaremos 3 transmisores, para el control del PH, TDS y el control de nivel del tanque.

En nuestro proyecto utilizaremos un módulo de entrada analógica de 4 canales configurables de tensión / corriente. Este módulo tomará lectura de las variables analógicas, procesará la información y la enviará a la CPU por un puerto serial del mismo sistema.

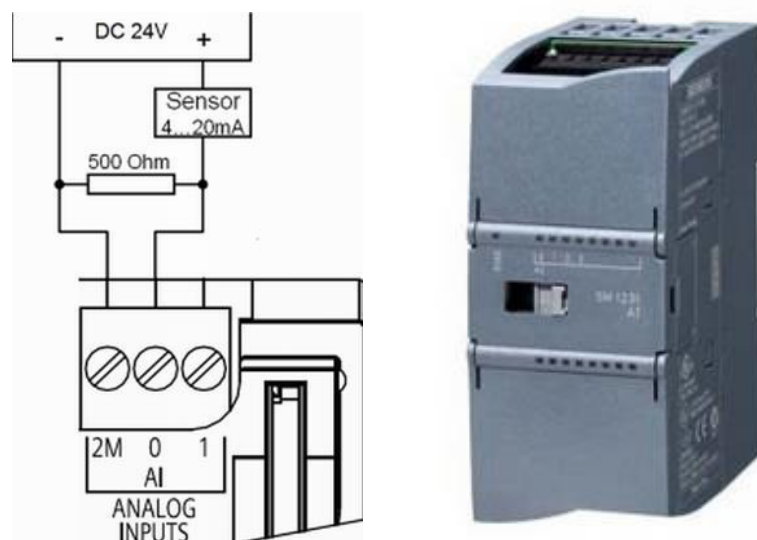


Figura 42. Módulo de entrada análoga SM1231

Fuente: Relepro Automartion

Ver link: https://relepro.com/simatic-s7-1200/285/siemens_simatic-s7-1200-entrada-analog-sm-1231-4ai-16bit_6es7231-5nd32-0xb0.html

Se muestra la conexión del transmisor de 4-20mA con la entrada del módulo analógico y la imagen del módulo de entrada análoga conectada a la CPU.

Para nuestro sistema también se utilizará una tarjeta de control SIGNAL BOARD de salida analógica. Por medio de esta tarjeta se tendrá el control PID del sistema, que controlará la dosificación de soda en la tubería para la regulación de los niveles de PH. Según las mediciones del PH, se tendrá el control de la dosificación de soda, según la respuesta del control PID del mismo sistema.



Figura 43. Signal Board

Fuente: Distribuidor Amazon



Figura 44. Slot de conexión del módulo signal Board al CPU

Fuente: Distribuidor amazon

Ver link: <https://www.amazon.com/Siemens-6ES72324HA300XB0-Module-SIMATIC-S7-1200/dp/B014DM5P5K>

En la figura 43 se muestra la tarjeta de salida analógica Signal Board. En la figura 44 se muestra la conexión al slot de comunicación con PLC.

La configuración de la tarjeta Signal Board se hace por software del TIA PORTAL, dicha configuración se da para designar si la salida analógica será de tensión o corriente.

3.4.5. Desarrollo del programa de control del sistema de ósmosis inversa

Para el desarrollo del programa se utilizará el software TIA PORTAL V13. Este software fué desarrollado para los controladores lógicos programables de SIEMENS. Este programa es compatible con la gamma de CPU de la serie 1200,1500, s300, pantallas HMI, computadores industriales, incluso con la gamma de variadores micro máster y Sinamic.

Es un software que integra la programación de PLC, y pantallas HMI y con librerías aplicables para los módulos de comunicación, señales analógicas y digitales.

A continuación, se mostrará un diagrama de flujo de la lógica tomada para la ejecución del programa de ósmosis inversa, y el sistema de supervisión:

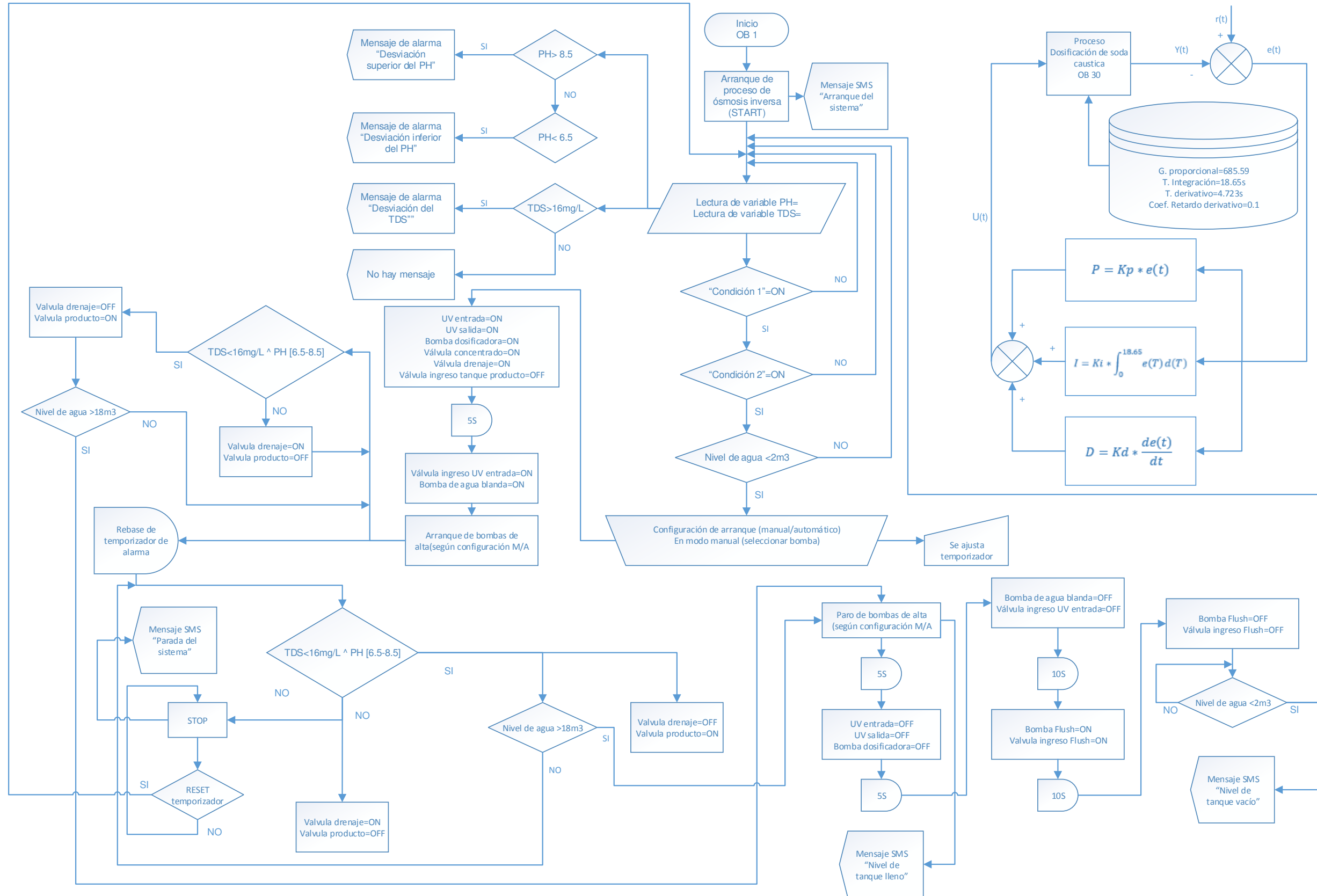


Figura 45. Diagrama de flujo del programa de ósmosis inversa.

A. Configuración de los dispositivos

Dentro del software existen bloques de configuración para los diferentes dispositivos accesibles al sistema, configurando el tipo de CPU, los módulos de entradas y salidas tanto analógicas como digitales, el módulo Signal Board y el módulo de comunicación GPRS.

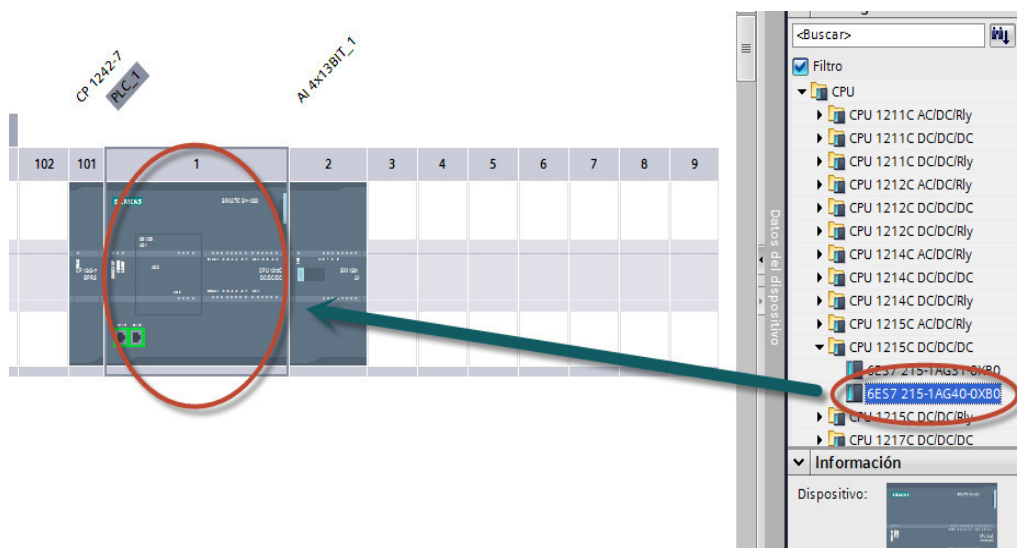


Figura 46. Selección del módulo CPU

En la selección del dispositivo, se debe de tomar en cuenta la versión de la CPU como el modelo, estos dos deben estar registrados dentro de la librería del software tal como se observa en la imagen, en si se designan de manera automática la red de configuración, para este equipo es del tipo Ethernet (profinet).

Al igual, para la selección y configuración del módulo de entrada analógica, se necesitará la versión y el modelo del equipo, para poder ser configurada según las necesidades del sistema. Se muestra la imagen del módulo designado.

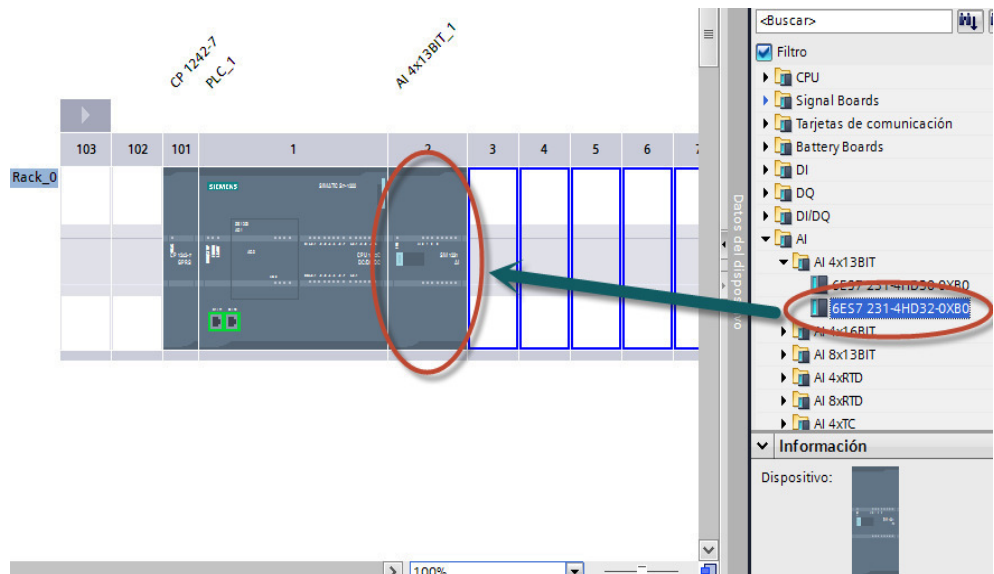


Figura 47. Selección del módulo de entrada analógica

En la parte frontal de la CPU se tiene un slot o ranura de inserción para la tarjeta de salida analógica SIGNAL BOARD. En la imagen adjunta se muestra a conexión y el modelo de tarjeta a conectar, asimismo para poder configurar el tipo de salida que tendrá la tarjeta.

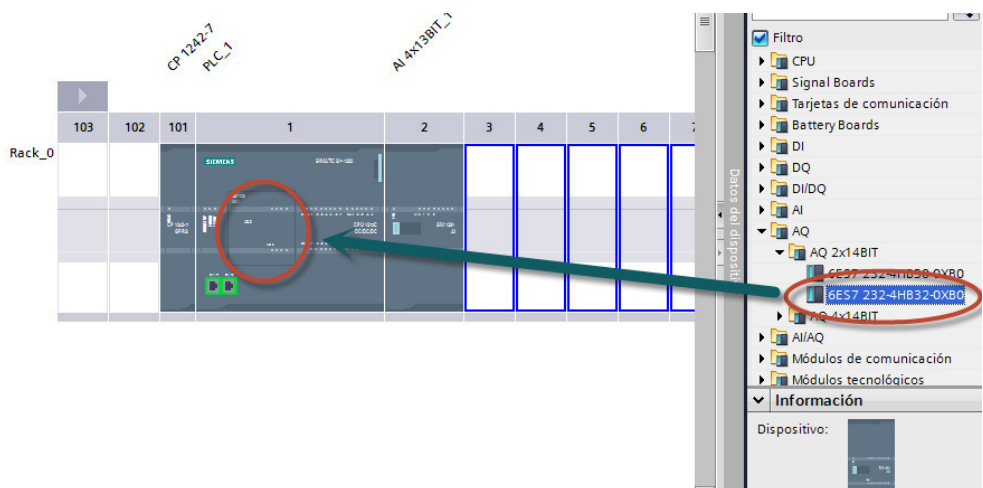


Figura 48. Selección del Signal Board.

Asimismo, como realizaremos la supervisión mediante mensajes de texto usaremos la red GPRS, para ello necesitaremos un módulo que nos permita realizar esta supervisión. SIEMENS

cuenta con este módulo, solamente compatible con la serie 1200 que es el CP1242-7, este módulo nos permite realizar una comunicación entre la CPU del PLC y un dispositivo móvil o un ordenador a través de correos electrónicos.

Esa comunicación es por medio de una configuración del sistema GPRS, cuenta con un slot para la inserción de un chip del operador móvil, para ambos casos de comunicación utiliza un chip.

En la imagen se muestra el módulo de comunicación CP1242-7.

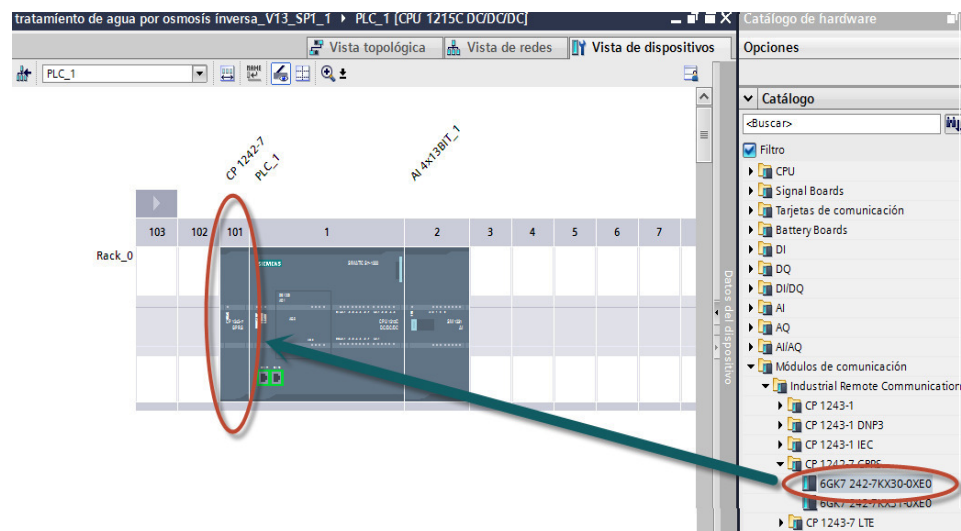


Figura 49. Selección del módulo procesador de comunicación.

Dentro de las propiedades del módulo están las opciones de configuración del módulo, el operador de servicios, entre otros.

Para la utilización del servicio es necesario conectar una antena del tipo omnidireccional que necesita el módulo, está la provee SIEMENS y está dentro de los parámetros accesibles para su trabajo, como por ejemplo la frecuencia, ancho de banda, ganancia, potencia etc.



Figura 50. Conexión del CPU con módulo de comunicación.

Fuente: Siemens Support

Ver link:

<https://support.industry.siemens.com/cs/document/63033580/firmware-v1-3-for-cp-1242-7-gprs-communication-module-for-s7-1200-released-for-delivery?dti=0&lc=en-CZ>

B. Creación de los bloques de programa

Para el desarrollo del programa se tuvo que dividir el proceso en varias etapas, tanto para el arranque y parada del equipo, como para las condiciones de ejecución del mismo proceso, es por ello que para el desarrollo del programa se tuvo que dividir de la siguiente manera:

- Diez bloques del tipo FC (para el desarrollo del programa en lenguaje Ladder).
- Tres bloques del tipo DB (bloques de datos para la configuración de la comunicación GPRS, datos de memoria de programa entre otros).

- Un bloque de interrupción cíclica OB 30 para la llamada cíclica del control PID.
- Un bloque principal OB1 para la llamada principal de los bloques FC.

Todos los bloques excepto los del tipo OB deben ser llamados por el OB1 para su ejecución, ya que si no son incluidas como librerías dentro del bloque OB1 esta no se ejecutará. El bloque OB 30 es de interrupción cíclica, el cual trabaja paralelamente con el OB 1, este bloque es autónomo y solo se ejecuta para interrupciones cíclicas, se utilizará para el control de lazo cerrado PID.

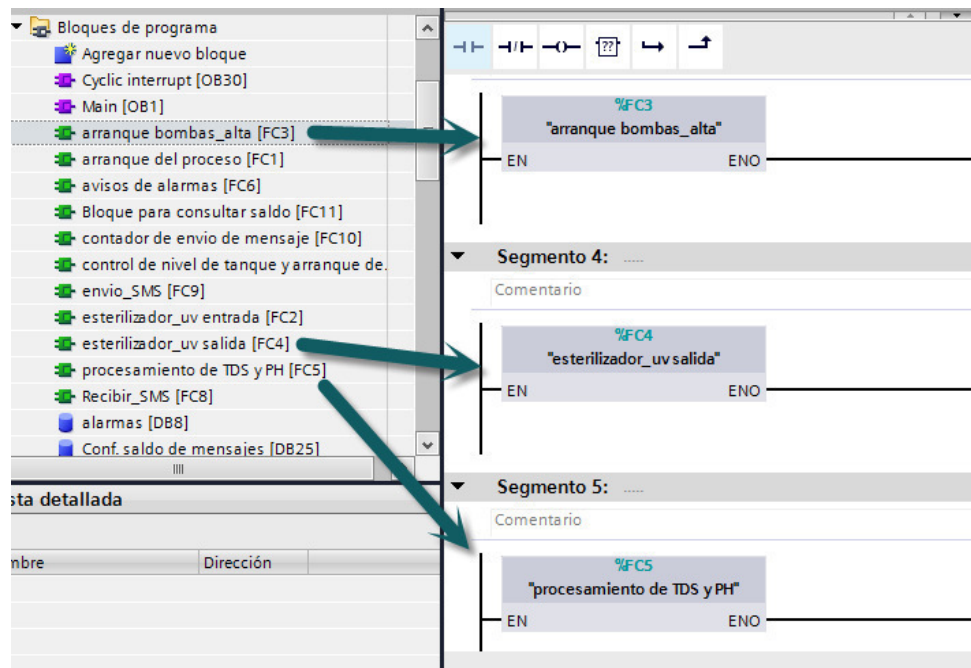


Figura 51. Configuración de las interrupciones en el OB1.

En la figura se muestra el bloque OB 1, el cual llama a cada una de los bloques FC que son subrutinas del programa. Estas obedecen al llamado del OB1.

GPRS_SMS_CONFIG			
	Nombre	Tipo de datos	Offset
1	Static		
2	CONFIG	TCON_Phone	0.0
3	Interfaceid	HW_ANY	0.0
4	ID	CONN_OUC	2.0
5	ConnectionType	Byte	4.0
6	ActiveEstablished	Bool	5.0
7	PhoneNumber	String[22]	8.0
8	mensaje_1	String	32.0
9	recibir_mensaje	String	288.0

configuracion de mensajes a enviar			
	Nombre	Tipo de datos	Offset
1	Static		
2	arranque del sistema	Array[0..30] of Char	0.0
3	parada del sistema	Array[0..50] of Char	32.0
4	tanque lleno	Array[0..30] of Char	84.0
5	tanque vacio	Array[0..30] of Char	116.0
6	desviacion superior PH	Array[0..30] of Char	148.0
7	desviacion inferior PH	Array[0..30] of Char	180.0
8	desviacion TDS	Array[0..20] of Char	212.0
9	sistema detenido po...	Array[0..30] of Char	234.0
10	lectura TDS producto	Struct	266.0
11	lectura PH producto	Struct	306.0

Figura 52. Configuración del enlace de conexión.

Se crea registros de memoria interna para la configuración de la comunicación GPRS, así también de los mensajes a enviar con los tipos de palabras para la transmisión de los datos

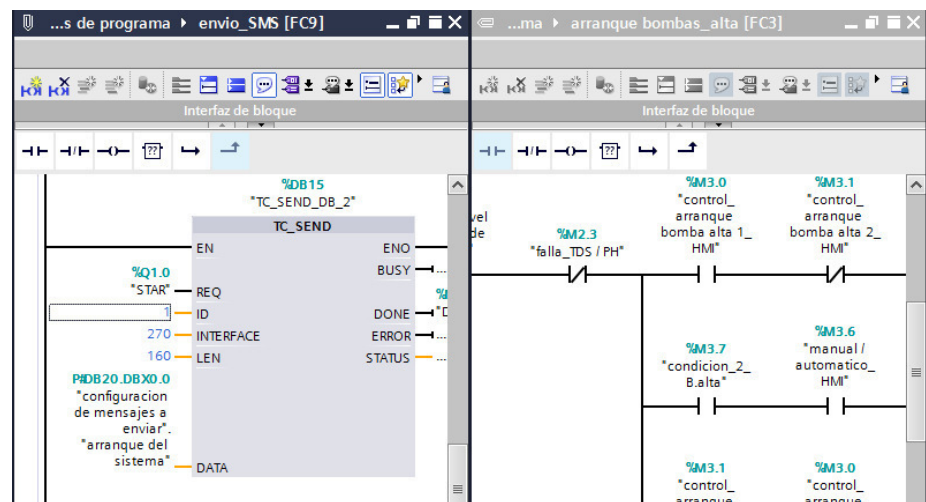


Figura 53. Bloque TC_SEND

El bloque TC_SEND es una instrucción para la comunicación GPRS que nos permite enviar los mensajes de texto al número de abonado registrado en la configuración del módulo CP1242-7.

Este bloque trabaja en conjunto con el de configuración TC_CON y TC_RECV.

El bloque TC_CON es para la configuración de la información, mientras que TC_RECV es para recibir los mensajes.

C. Creación de lista de variables

Para el diseño e implementación del proyecto se tiene señales eléctricas digitales, analógicas y actuadores, pero se debe de identificar tanto para el programa como para la identificación en el plano eléctrico. En el programa se debe de identificar cada una de las señales, según el tipo de variable.

Las variables que se van creando dentro del programa servirán para identificar cada una de las señales, sin embargo, se debe designar el tipo de variable que es, es decir si son el tipo BOOL, REAL, STRING, CHAR, WORD, INT.

Los tipos de variables mencionadas serán utilizadas en el desarrollo del programa y deberán ser designadas y configuradas para su desarrollo.

Para la configuración entre la pantalla HMI y el OPC SERVER también deberá ser asignado con la misma dirección en la comunicación.

	Nombre	Tabla de variables	Tipo de datos	Dirección	Rema...	Visibl...	Acces...	Com.
46	señal_TDS_bajo	Tabla de variables e..	Bool	%M1.5	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
47	señal_PH_optimo	Tabla de variables e..	Bool	%M1.6	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
48	PH_fuera de rango	Tabla de variables e..	Bool	%M0.7	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
49	TDS_fuera de rango	Tabla de variables e..	Bool	%M0.6	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
50	falla_TDS / PH	Tabla de variables e..	Bool	%M2.3	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
51	nivel_tanque	Tabla de variables e..	Int	%IW100	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
52	norma_0	Tabla de variables e..	Real	%MD12	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
53	nivel TK_agua osmotizada	Tabla de variables e..	Real	%MD14	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
54	bajo nivel TK	Tabla de variables e..	Bool	%M2.4	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
55	alto nivel TK	Tabla de variables e..	Bool	%M2.5	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
56	control nivel arranque de bombe	Tabla de variables e..	Bool	%M6.0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
57	flip-flop/control nivel	Tabla de variables e..	Bool	%M6.1	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	

Figura 54. Lista de variables y marcas del CPU.

Las variables asignadas se guardan en un registro como lista de variables estándar, el cual serán editadas según el tipo de palabra que se le asignará.

D. Creación y configuración de las imágenes en la pantalla HMI

Las pantallas touch screen SIMATIC HMI es una interfaz hombre-máquina que permite al operador interactuar directamente con el sistema a través del programa de control dentro del PLC. Este dispositivo tiene un programa editado por el mismo programador direccionado y configurado para comunicarse tanto con el PLC como con un ordenador industrial. Se configura para que las señales, variables y arquitectura del sistema sea visible en la pantalla HMI, asimismo poder interactuar con el programa, pudiendo así tener el control total del sistema. Esto quiere decir poder monitorear todo el sistema, tener acceso a las lecturas de las variables controladas, poder manipular sus variables, incluso poder hacer visible el registro de alarmas que puedan presentarse durante todo el sistema.

Se deberá asignar una pantalla HMI con la versión y el modelo del equipo compatible con el tipo de PLC, asignándole una imagen raíz. La dirección IP por defecto lo designa el mismo programa.

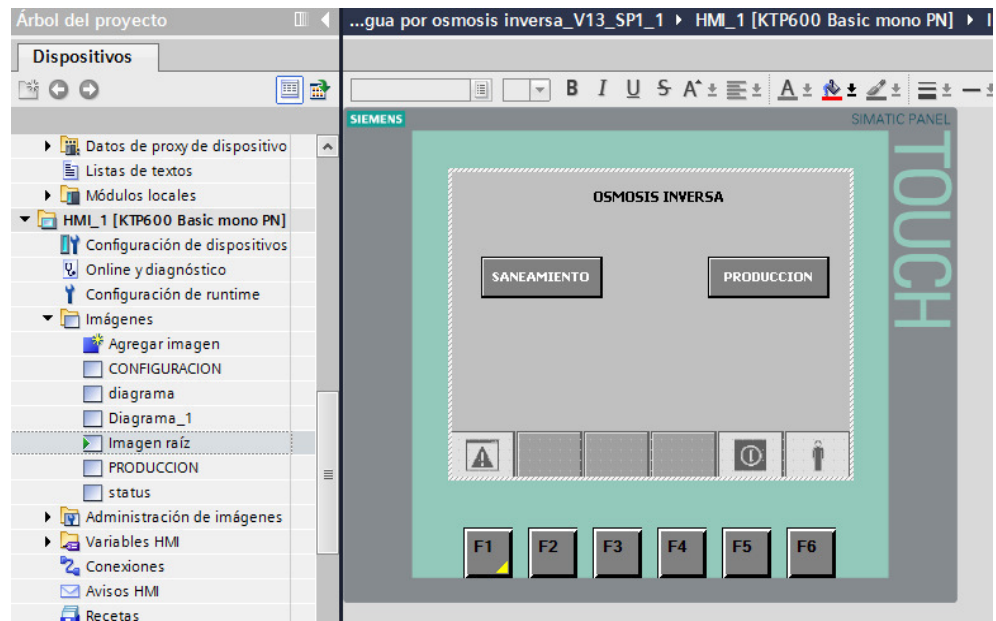


Figura 55. Configuración de la pantalla HMI

La imagen raíz, como primera imagen mostrada en pantalla, desde allí iniciará las demás opciones del menú

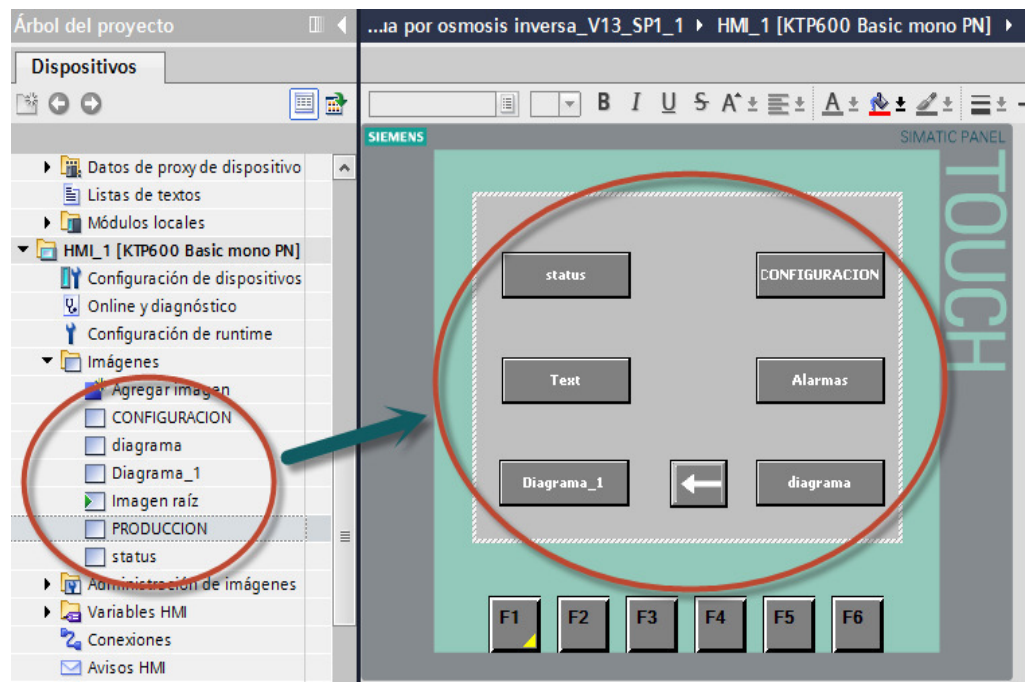


Figura 56. Configuración del menú de acceso.

En la imagen raíz se comienza a enlazar las demás ventanas, para nuestro caso es una para el saneamiento del equipo de ósmosis inversa y otra de producción.

Se designa otras ventanas para cada una de las etapas del sistema, asimismo para las alarmas y el status.

Dentro de la pantalla de status registramos las variables de nivel del tanque, nivel de PH y TDS del agua osmotizada.

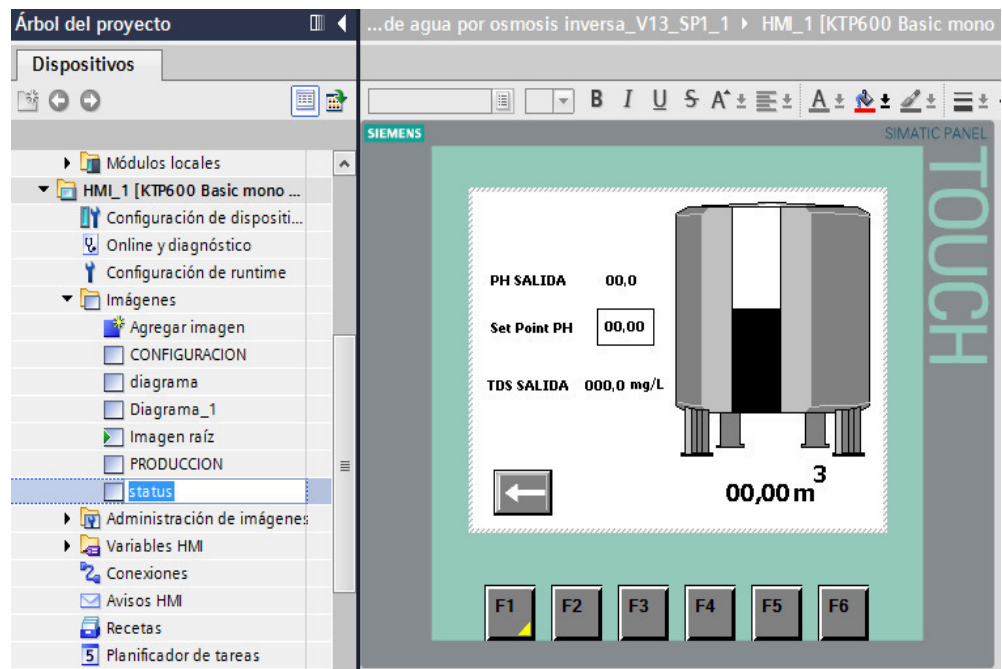


Figura 57. Configuración del tanque pulmón de agua osmotizada.

Se designa una ventana donde se puede visualizar el diagrama completo del sistema de ósmosis inversa, un esquema completo con los equipos las bombas actuadoras, sensores, etc. Además de ello la medición de las variables controladas.

En la imagen se configura las entradas visibles y no visibles de la imagen. Los actuadores y sensores deben de estar direccionadas con las variables creadas en el registro del PLC, para que los eventos que sucedan en los bloques puedan ser leídos en la pantalla HMI.

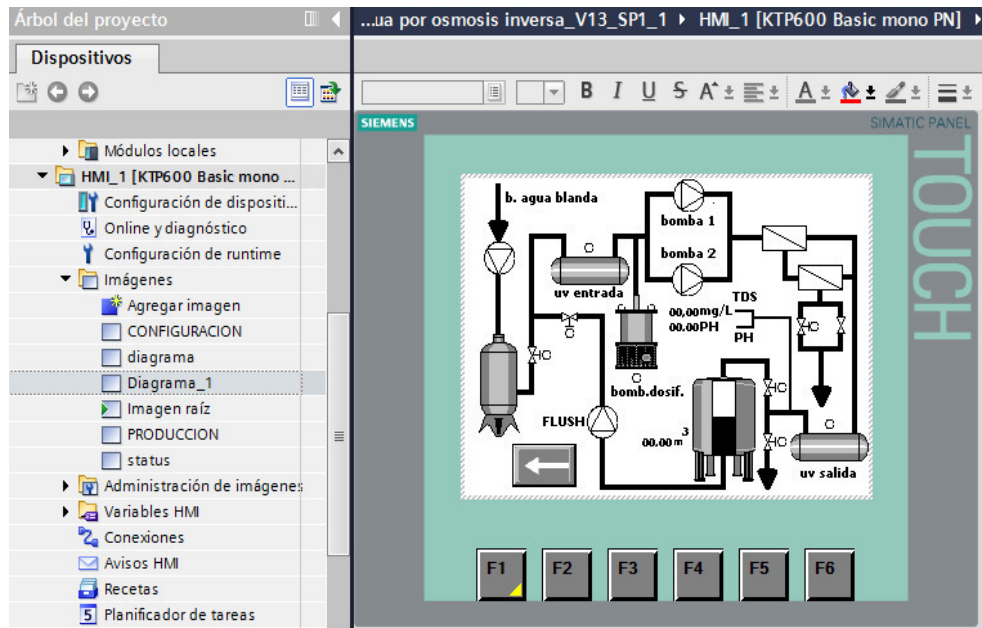


Figura 58. Diagrama de la planta de tratamiento de ósmosis inversa.

En la imagen de la figura se podrá visualizar todo el sistema de ósmosis inversa en tiempo real, la secuencia de arranque de cada proceso asimismo el estado de las variables y el nivel del tanque.

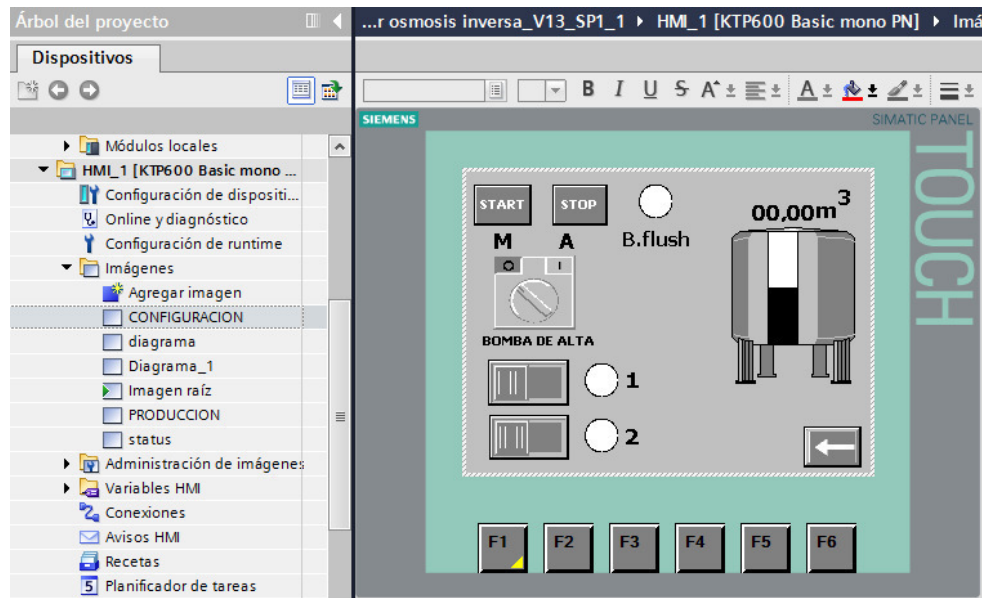


Figura 59. Pantalla de control y arranque del sistema.

En la imagen se muestra la configuración del arranque manual y automático del sistema, el status del nivel del tanque y de las

bombas de alta presión, de esta manera se tendrá mayor control del sistema.

Las botoneras y los switch deberán estar direccionadas con las de las variables del PLC para que interactúen con las de los bloques del programa.

Tanto el PLC como la pantalla HMI tienen puertos Ethernet lo cual cada una de ellas tienen una dirección IP de fábrica por lo que en la conexión en red se identificarán si en el caso se conecte entre ellas se reconocerán mutuamente, sin embargo, si se necesita conectar otros dispositivos como una PC u otro PLC se deberá configurar.

El TIA PORTAL configura estas direcciones a la hora de ponerse en online con los equipos, este asigna una dirección IP adicional para la comunicación.

Si se conecta con un router, se necesitará la puerta de enlace de ellas, de la misma manera será para la configuración del OPC SERVER cuando se tome lectura de las variables de programa del PLC, como será por conexión Ethernet se tendrá que asignar.

3.4.6. Desarrollo y montaje del control PID en el sistema

Mantener La concentración del PH estable de agua osmotizada muy complejo, más aún cuando se trabaja con flujos de agua mayores a 70m³/h, para un proceso tan crítico como la estabilidad del PH es muy importante, por tal motivo se está presentado un bloque tecnológico que realice esta labor. El bloque tecnológico PID tendrá la configuración para realizar esta labor, sin embargo, para la presentación y demostración es necesario contar con una planta que cuente con los equipos necesarios para su realización, como no contamos con ellos se pensó realizar el montaje de una pequeña maqueta que realice su simulación.

Como la planta de proceso existe, más aún es un sistema de lazo cerrado (sistema realimentado), el mismo bloque tecnológico realiza un auto-tuning, para calcular el mejor valor de los parámetros PID que se ajusten al proceso.

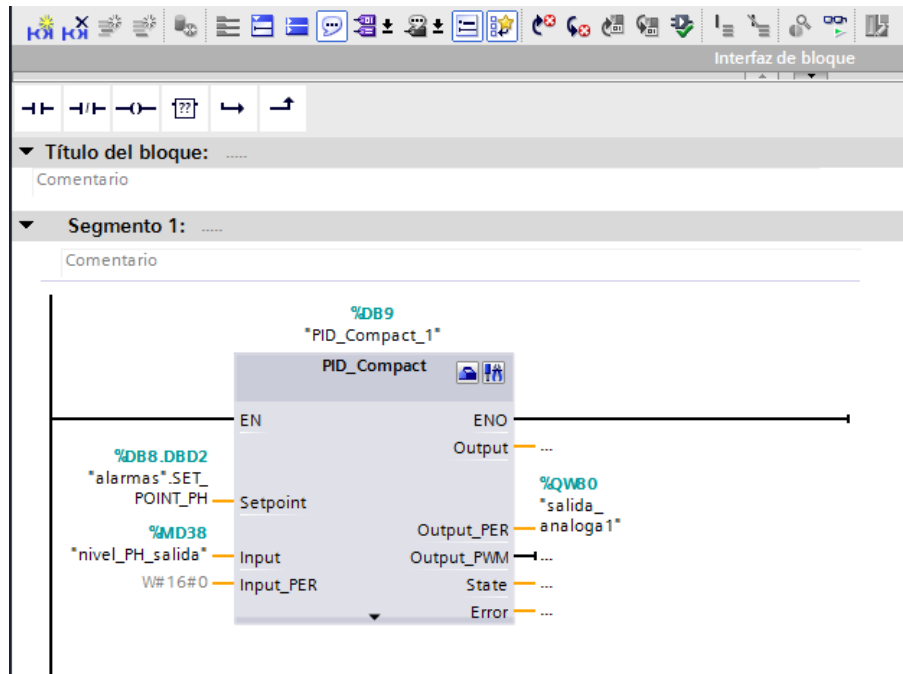
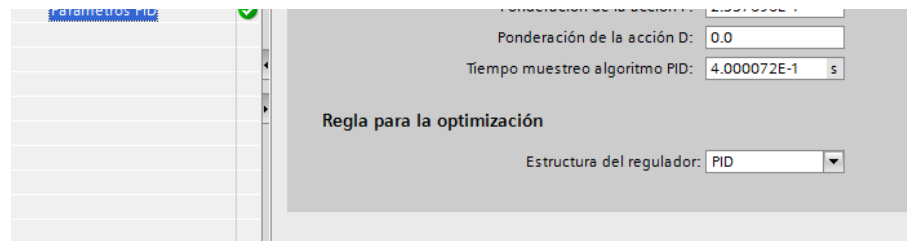


Figura 60. Bloque de control tecnologico PID



Como se observa, para el proceso, solo se configura dos entradas que son “Set point” que será el valor deseado de ajuste, “input que será la señal de medida de la salida que se realimentará a la entrada del bloque, finalmente la salida “Output_PER” que representa la salida de control cuya salida es análoga (4-20mA) que modula la salida del sistema hacia el actuador.

Figura 61. Parametros del controlador PID

Como se mencionó anteriormente, el bloque PID realiza un auto-tuning, para calcular los parámetros de control PID que se ajusta al sistema para optimizarlo.

Luego se realiza el montaje y pruebas del sistema en el prototipo de simulación implementado, conectando las señales a las interfaces que actuarán sobre el proceso.

Para ello necesitaremos una tarjeta de desarrollo en sistemas embebidos, para nuestro caso usaremos una tarjeta ARDUINO UNO y un servo motor de 180° de paso angular.

El arduino tomará lectura de la señal análoga emitida por el PLC y en base a esta señal controlará la simulación del proceso PID por medio del servo motor.

El objetivo del arduino es controlar el sentido de giro horario o antihorario del servo motor según la señal recibida del PLC, el servomotor girará en un sentido u otro según la necesidad del arduino, y es por este medio que se desarrollará la simulación del control PID.

3.4.7. Montaje del prototipo de simulación del ósmosis inversa

Para la presentación de y demostración de nuestro proyecto, se tendrá que realizar un montaje del mismo con los equipos y el sistema presentados anteriormente.

Como serán varios equipos y dispositivos los utilizados para su presentación, se deberá de presentar a continuación:

- Una fuente de alimentación SITOP de 24V/20^a.
- Un controlador lógico programable SIEMENS 1200 (1215 DC/DC/DC).
- Una pantalla TOUCH SCREEN PANEL SIEMENS de 6"
- Un módulo de entrada analógica de 4 canales.
- Un módulo de comunicación GPRS CP1242-7.

- Una antena omnidireccional para la comunicación GPRS.
- Una tarjeta SIM del operador de servicio.
- pulsadores superficiales normalmente abiertos.
- Tres transmisores de temperatura.
- Un sensor RTD PT100.
- Dos potenciómetros de precisión de 200 ohm.
- Relés de 24V.
- Una tarjeta arduino UNO.
- Un servomotor de 180° para arduino.
- Un cooler mediano de 24V.
- Un circuito DIMMER.
- Un potenciómetro lineal de 220k ohm.
- Un acople mecánico entre el servomotor y el potenciómetro lineal.
- Una plataforma diseñada para la presentación del proyecto.
- Una caja hermética para las pruebas del control PID.
- Una llave termo magnética de 20 A.
- Cable eléctrico mellizo # 14.
- Un enchufe.
- Canaleta.

Es por ello que se ha diseñado una maqueta donde los equipos serán montados en una plataforma tanto vertical como horizontal para la sustentación del mismo tal como se presenta en la imagen:

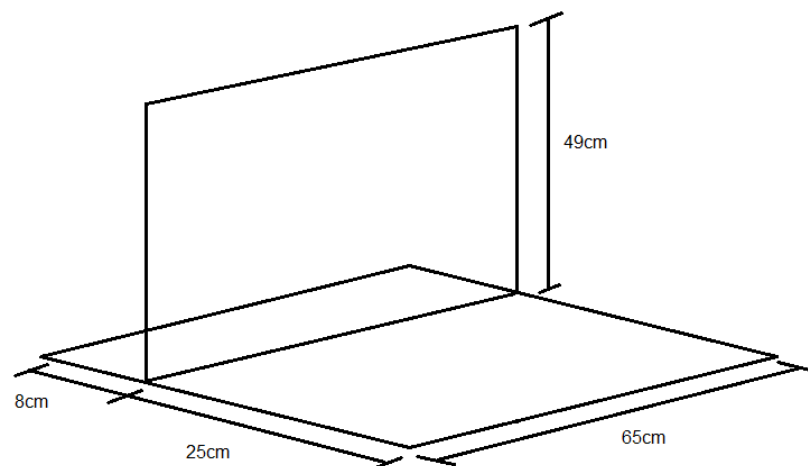


Figura 62. Diseño y armado de la plataforma del prototipo.

Se desarrolló el montaje en una plataforma vertical del PLC, la fuente, pulsadores, transmisores y algunos relés, asimismo canaleta para el paso de los cables.

La presentación de la pantalla HMI será en una plataforma de mica #5 de grosor trabajado a la medida de la pantalla de 6" de diámetro, fijada con unos soportes angulares a la superficie de la plataforma. La presentación de la pantalla será de manera vertical para su visibilidad.

Asimismo, los potenciómetros de precisión estarán fijos en la superficie de la maqueta para su ajuste y utilización durante la presentación.

Las plataformas serán de madera trabajada para su presentación, se dimensionó en su diseño y tamaño para las necesidades de presentación.

Para la demostración del control PID sobre los niveles de PH y la dosificación de soda, se decidió implementar el control y toma de lectura analógica con un arduino UNO.

El arduino tomará lectura de la señal análoga proveniente del PLC, esta será procesada por el arduino, y este a su vez controlará el sentido de giro de un servomotor, en función a la variación de esta señal de tensión del PLC, el servo motor mediante un acople mecánico regulará la intensidad de luz de una bombilla incandescente por medio de un potenciómetro lineal conectado a un circuito DIMMER, la regulación de la intensidad de luz de la bombilla nos servirá para regular la temperatura dentro de la cámara impermeable donde se encontrara nuestro sensor de temperatura PT100, y este a su vez conectado a la entrada analógica del módulo por medio del transmisor de temperatura. De esta manera se realizará la demostración del control PID de lazo cerrado del PH del agua osmotizada.

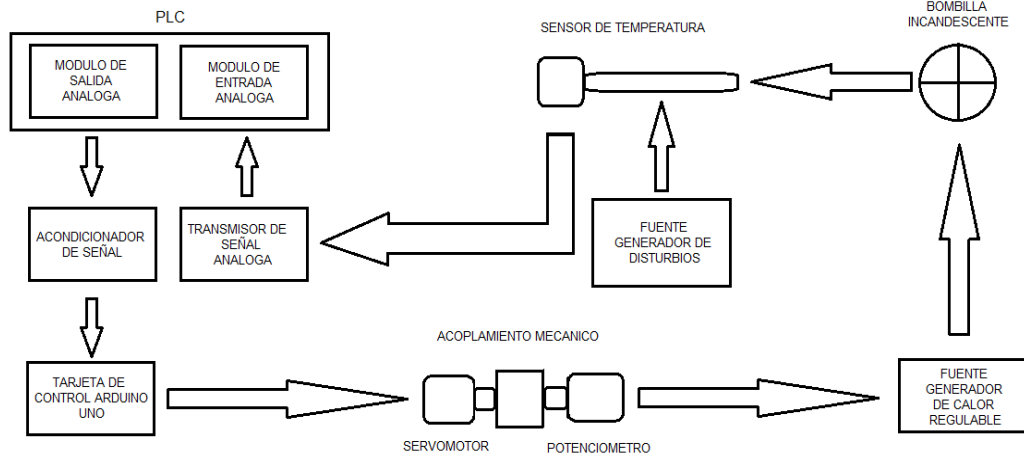


Figura 63. Diagrama de bloques de simulación del control PID.

En la imagen se muestra el diagrama de bloques estructurado del proceso de control PID sobre el PH del agua osmotizada por el sistema de ósmosis inversa. Esta demostración realizará una simulación de cómo se tendrá control de la dosificación de soda por medio de los bloques lógicos tecnológicos del sistema PID.

Tabla 15. Lista de componentes utilizado para la simulación del control PID

Elementos para la simulación	Elementos de control en Planta
Acondicionador de señal	
Tarjeta de control Arduino UNO	
Servomotor	
Acoplamiento mecánico	Bomba dosificadora de soda
Potenciómetro lineal	
Fuente generador de calor regulable	
Bombilla incandescente	
Sensor de temperatura	Sensor/ electrodo de pH
Transmisor de señal análoga	Transmisor de pH
Fuente generador de disturbios	Flujo de agua

En base a este sistema se realizará la presentación y simulación del control PID sobre el PH del agua osmotizada.

Se preparará una caja cerrada donde tendrá tres bombillas incandescentes que emitirá calor, al interior y entre ellas se colocará un sensor de temperatura PT100 para medir la temperatura al interior de la caja, asimismo tendrá también un ventilador COOLER de 24V de alimentación. El objetivo de colocar el cooler es homogenizar la temperatura al interior de la caja, además de producir disturbios y errores en el sistema, es decir variaciones en la temperatura lo que provocara que el sistema se auto regule incrementando o disminuyendo el calor al interior del sistema.

Cuando el sistema presente una caída de temperatura en referencia al valor de la consigna, la generación de calor producida por las bombillas incrementara. Si existe un exceso de calor en referencia al valor de la consigna, el calor producido por las bombillas disminuirá. Esto será posible modulando la potencia de las bombillas por medio de un circuito electrónico llamado DIMMER.

El DIMMER modulará la intensidad de luminosidad por medio de su potencia. La potencia de las bombillas tiene una relación proporcional con la intensidad de calor emitida por las bombillas, es por ello que modulando la potencia de la bombilla se consigue incrementar o disminuir la emisión de calor por parte de la bombilla.

Desde el punto de vista electrónico, el DIMMER regula el voltaje RMS con el que se alimentará la bombilla, es por medio de este efecto que se consigue estos resultados.

Para lograr la modulación de calor se empleará un servomotor y un potenciómetro lineal de 100Kohm, el servomotor moverá la perilla del potenciómetro por medio de un acople mecánico diseñado a la medida de ambos dispositivos, el servomotor tendrá la función de mover la perilla del potenciómetro en sentido horario o anti horario

según la programación del arduino, el arduino emitirá esa información según la programación y la señal analógica recibida el PLC.

El potenciómetro estará conectado al circuito dimmer, este modulará la potencia de las bombillas incandescente según las necesidades del arduino, como se mencionó anteriormente.

3.4.8. Resultados obtenidos sobre el control automatizado en la regulación autónoma del PH del agua

Al finalizar la implementación del prototipo del sistema, se realizó diversas pruebas, sometiéndolo a condiciones normales de trabajo (sin fallas), en condiciones en fallas comunes (fallas de variación aleatoria) y condiciones extremas (descontrol total del sistema). Cabe mencionar que el control automatizado de autorregulación es sobre el PH utilizada en la dosificación de soda.

Al realizar los ajustes necesarios del equipo, durante el arranque de producción, previamente se realiza saneamiento del equipo, lo cual el sistema queda con un PH inicial que puede variar entre 2-3 (cuando se realiza limpieza química con ácido a inicio de semana), y en otros casos 9-10 (cuando se realiza saneamiento con químicos alcalinos a mitad de semana).

El saneamiento se realiza al inicio de semana, la limpieza química se realiza a mitad de semana, lo cual esta estandarizado por producción y calidad.

Para ambos casos se realizaron pruebas y se obtuvieron resultados el cual fue analizado para la optimización del proceso.

A. Regulación del PH al arranque del inicio de semana.

Se realizaron pruebas de regulación, arrancando el sistema con el PH bajo, tal como se da al inicio de producción, esta se da por que la limpieza se realiza con ácidos, y la tubería queda con niveles de

PH bastante bajo; para ello las pruebas se realizan bajo esas condiciones.

A continuación, se muestran los resultados de las pruebas realizadas:

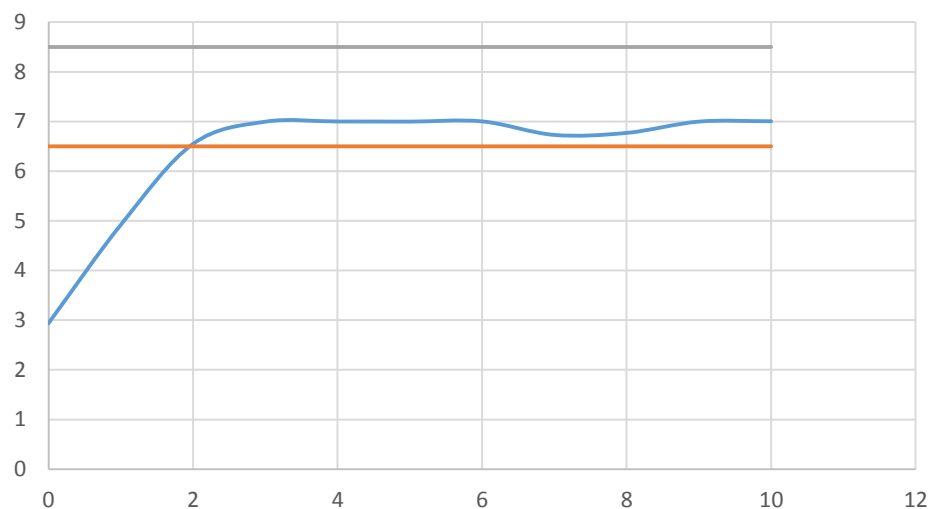


Figura 64. Primer muestreo con el sistema de control PID.

Tabla 16. Registro de prueba 1 sobre la regulación de PH

	t(min)	PH	PH min	PH máx.
	0	2.94	6.5	8.5
	1	4.92	6.5	8.5
	2	6.55	6.5	8.5
	3	6.996	6.5	8.5
	4	7	6.5	8.5
	5	6.998	6.5	8.5
	6	7.002	6.5	8.5
Aumenta el flujo de agua	7	6.73	6.5	8.5
	8	6.77	6.5	8.5
	9	6.998	6.5	8.5
	10	7.005	6.5	8.5

En la figura se muestra una alteración en el flujo de agua en los tiempos.

Se mantiene un flujo constante de agua, sin embargo, en el minuto 2 se alcanza en mínimo PH permitido, se produce una alteración y a los 2 minutos se recupera la estabilidad.

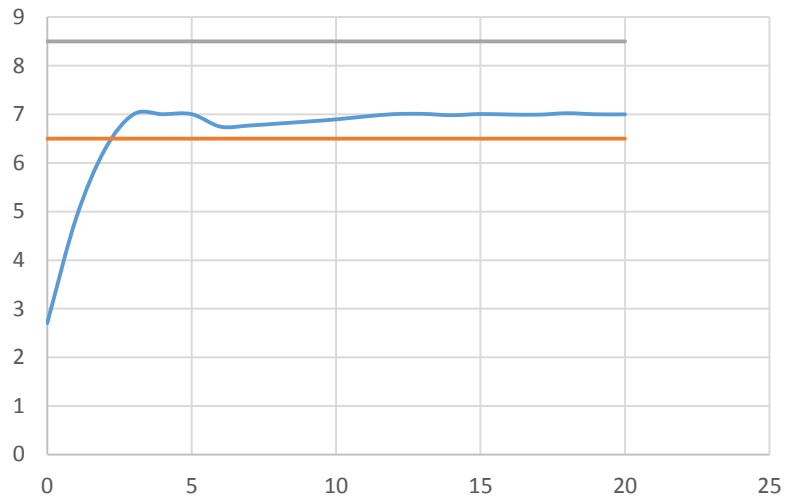


Figura 65. Segundo muestreo con el sistema de control PID.

Tabla 17. Registro de prueba 2 sobre la regulación de PH

t(min)	PH	PH min	PH máx.
0	2.704	6.5	8.5
1	4.86	6.5	8.5
2	6.28	6.5	8.5
3	7.003	6.5	8.5
4	7.002	6.5	8.5
5	7.003	6.5	8.5
6	6.746	6.5	8.5
7	6.77	6.5	8.5
8	6.81	6.5	8.5
9	6.851	6.5	8.5
10	6.896	6.5	8.5
11	6.955	6.5	8.5
12	7.004	6.5	8.5
13	7.009	6.5	8.5
14	6.982	6.5	8.5
15	7.006	6.5	8.5
16	6.996	6.5	8.5
17	6.993	6.5	8.5
18	7.022	6.5	8.5
19	7	6.5	8.5
20	6.999	6.5	8.5

En la imagen se muestra dos variaciones, la primera en los minutos 6 y 7 incrementando el flujo de agua y la segunda en los minutos 17 y 18 disminuyendo el flujo de agua.

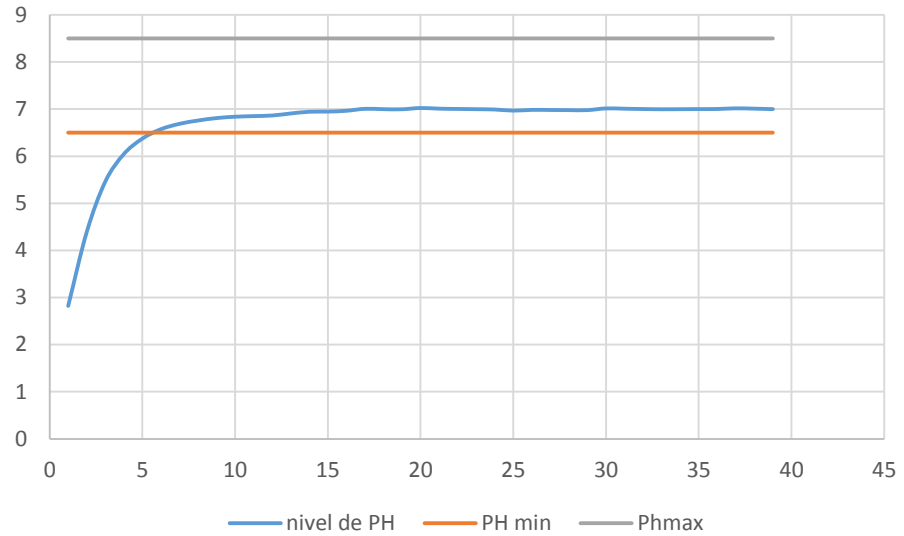


Figura 66. Tercer muestreo con el sistema de control PID.

El sistema muestra una estabilidad entre los dos valores admisibles del PH, pasando los 5 minutos el PH entra en zona de control, por lo que da pase para que el agua osmotizada ingrese al tanque pulmón para la preparación de bebida.

Tabla 18. Registro de prueba 3 sobre la regulación de PH

t(min)	PH	PH min	Phmax
0	2.822	6.5	8.5
1	4.39	6.5	8.5
2	5.46	6.5	8.5
3	6.045	6.5	8.5
4	6.373	6.5	8.5
5	6.573	6.5	8.5
6	6.687	6.5	8.5
7	6.757	6.5	8.5
8	6.809	6.5	8.5
9	6.838	6.5	8.5
10	6.851	6.5	8.5
11	6.864	6.5	8.5
12	6.907	6.5	8.5
13	6.943	6.5	8.5
14	6.947	6.5	8.5
15	6.964	6.5	8.5
16	7.006	6.5	8.5
17	6.998	6.5	8.5
18	6.996	6.5	8.5
18'30"	7.023	6.5	8.5
19	7.009	6.5	8.5
20	7.003	6.5	8.5
21	6.998	6.5	8.5
21'30"	6.991	6.5	8.5
22	6.968	6.5	8.5
23	6.983	6.5	8.5
24	6.981	6.5	8.5
25	6.978	6.5	8.5
26	6.978	6.5	8.5
27	7.014	6.5	8.5
27'30"	7.008	6.5	8.5
28	7.001	6.5	8.5
29	6.996	6.5	8.5
30	6.998	6.5	8.5
31	7	6.5	8.5
32	7.002	6.5	8.5
32'30"	7.016	6.5	8.5
33	7.009	6.5	8.5
34	6.999	6.5	8.5

En la imagen adjunta se muestra otra condición, en la que el sistema enciende sin alteraciones, al minuto 5 pasa el nivel mínimo, bajo esta situación, el producto final ya no se rechaza, más bien pasa como producto optimo y se deposita en el tanque pulmón. Se observa que se tiene dos niveles en condiciones de trabajo, entre 6.5 y 8.5 como nivel de PH óptimo para el proceso, bajo este régimen el agua osmotizada no será rechazado.

Además de ello, cabe mencionar que el tiempo que demora el operador en estabilizar el PH de manera manual, es de 10 a 15 minutos, durante este periodo de tiempo toda el agua procesada va al drenaje, un significativo volumen de agua en pérdida para la producción.

Actualmente por la experiencia de los operadores, han logrado optimizarlo a 20 minutos (anteriormente superaba los 30 minutos), sin embargo, aun así, la pérdida es significativa, puesto que son 70m³/h el flujo de agua procesada que sale del ósmosis inversa.

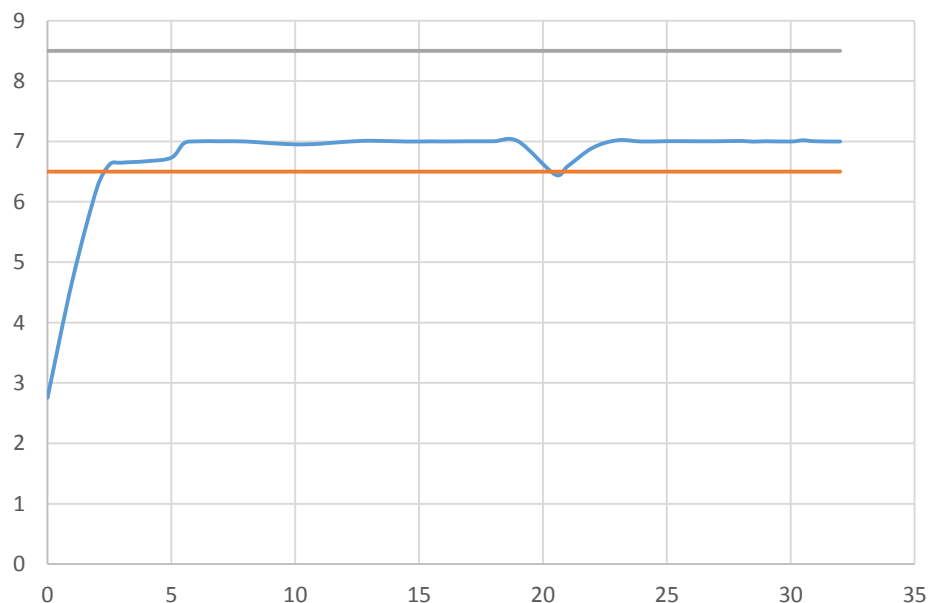


Figura 67. Cuarto muestreo con el sistema de control PID.

Tabla 19. Registro de prueba 4 sobre la regulación de PH

	t(min)	PH	PH min	Phmax
	0	2.754	6.5	8.5
	1	4.69	6.5	8.5
Se incremeta flujo	2	6.232	6.5	8.5
	2.5	6.616	6.5	8.5
	3	6.648	6.5	8.5
	4	6.672	6.5	8.5
Se reduce el flujo	5	6.731	6.5	8.5
	5.5	6.967	6.5	8.5
	6	7.001	6.5	8.5
	7	7.002	6.5	8.5
Se incremeta flujo	8	6.999	6.5	8.5
	9	6.971	6.5	8.5
	10	6.951	6.5	8.5
	10.5	6.953	6.5	8.5
	11	6.961	6.5	8.5
	12	6.993	6.5	8.5
	13	7.011	6.5	8.5
	14.5	6.998	6.5	8.5
	15.5	7.001	6.5	8.5
	16	6.999	6.5	8.5
	17	7.002	6.5	8.5
	18	7.002	6.5	8.5
Nivel lleno, se apaga el sistema	19	7.002	6.5	8.5
	20.5	6.45	6.5	8.5
	21	6.59	6.5	8.5
	22	6.893	6.5	8.5
	23	7.019	6.5	8.5
	24	6.998	6.5	8.5
	25	7.004	6.5	8.5
	26	7.003	6.5	8.5
	27	7.002	6.5	8.5
	28	7.008	6.5	8.5
	28.5	6.996	6.5	8.5
	29	7.003	6.5	8.5
Se reduce el flujo	30	6.998	6.5	8.5
	30.5	7.018	6.5	8.5
	31	7.002	6.5	8.5
	32	6.998	6.5	8.5

Como se puede observar en la imagen, se presenta 3 condiciones críticas de variación en el flujo de agua.

Al inicio del minuto 2 se incrementa el flujo, a esto se retrasa la regulación, tal como se muestra en la gráfica, luego alcanza su regulación, al minuto 5 se reduce el flujo por lo que el PH sube rápidamente

Al minuto 20 se apaga sistema por tanque lleno, sin embargo, se presentó un problema, el cual fue que se apagó la bomba dosificadora, ello ocasionó una caída brusca del PH que se recuperó rápidamente. Situaciones así ha ocurrido cuando hubo fallas en la bomba dosificadora por obstrucción en la succión y descarga del sistema, el sistema responde rápidamente apagándose todo el sistema cuando no se recupera en un tiempo máximo de 5 minutos.

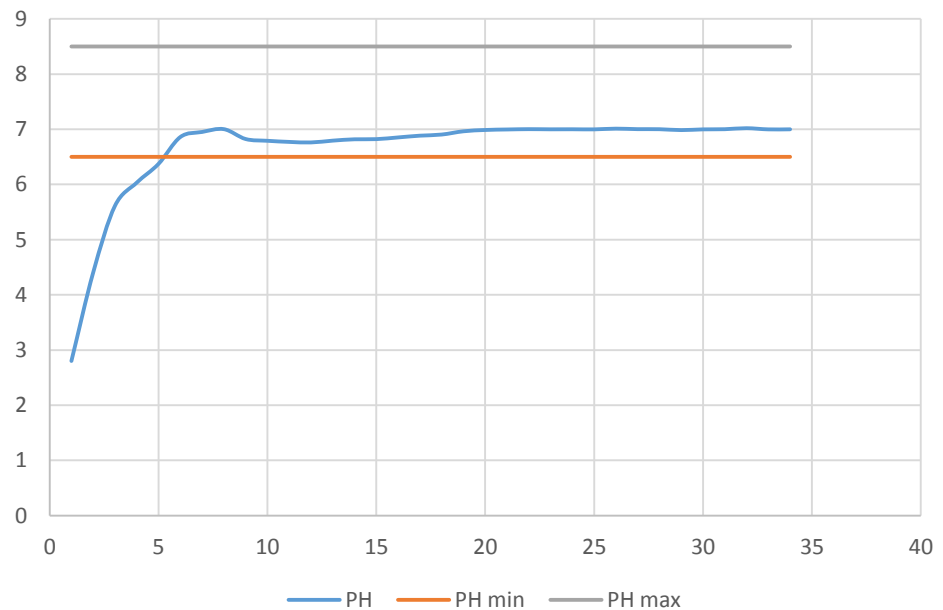


Figura 68. Quinto muestreo con el sistema de control PID.

Tabla 20. Registro de prueba 5 sobre la regulación de PH

	t(min)	PH	PH min	PH máx.
	0	2.801	6.5	8.5
	1	4.405	6.5	8.5
	2	5.613	6.5	8.5
	2'30"	6.033	6.5	8.5
	3	6.373	6.5	8.5
	4	6.859	6.5	8.5
	5	6.951	6.5	8.5
	6	7.002	6.5	8.5
Aumenta el flujo de agua	7	6.823	6.5	8.5
	7'30"	6.791	6.5	8.5
	8	6.771	6.5	8.5
	9	6.761	6.5	8.5
	10	6.794	6.5	8.5
	11	6.818	6.5	8.5
	12	6.821	6.5	8.5
	13	6.852	6.5	8.5
	14	6.884	6.5	8.5
	15	6.904	6.5	8.5
	16	6.963	6.5	8.5
	17	6.987	6.5	8.5
	18	6.996	6.5	8.5
	19	7.002	6.5	8.5
	20	6.999	6.5	8.5
	21	7	6.5	8.5
	22	6.998	6.5	8.5
Disminuye el flujo de agua	23	7.011	6.5	8.5
	23'30"	7.002	6.5	8.5
	24	7.001	6.5	8.5
Aumenta el flujo de agua	24'30"	6.985	6.5	8.5
	25	6.998	6.5	8.5
	25'30"	7.001	6.5	8.5
Disminuye el flujo de agua	26	7.019	6.5	8.5
	27	6.998	6.5	8.5
	28	6.999	6.5	8.5

En la imagen se muestra el proceso de arranque con un PH 2.801, se observa cómo durante el proceso, el PH se va incrementando hasta alcanzar el valor de la consigna.

Se toma muestras en periodos de 1 minutos, y en algunos casos medio minuto.

Entre el minuto 6 y 7 aumenta el flujo del agua por lo que se observa que disminuye el PH, pero rápidamente reacciona el controlador PID aumentando la señal de salida para buscar alcanzar la consigna, luego entre los minutos 22 y 23 disminuye el flujo de agua, por lo que se dispara el PH, el controlador atenúa el desfase por lo que se reduce a 7.002. Entre los minutos 24 y 24'30" nuevamente vuelve a incrementar el flujo y este responde incrementando la dosis de soda y posteriormente entre los minutos 25'30" y 26 disminuye el flujo, por lo que la dosis de soda se reduce, atenuando el PH y regulándolo según la consigna.

B. Regulación del PH durante saneamiento a mitad de semana

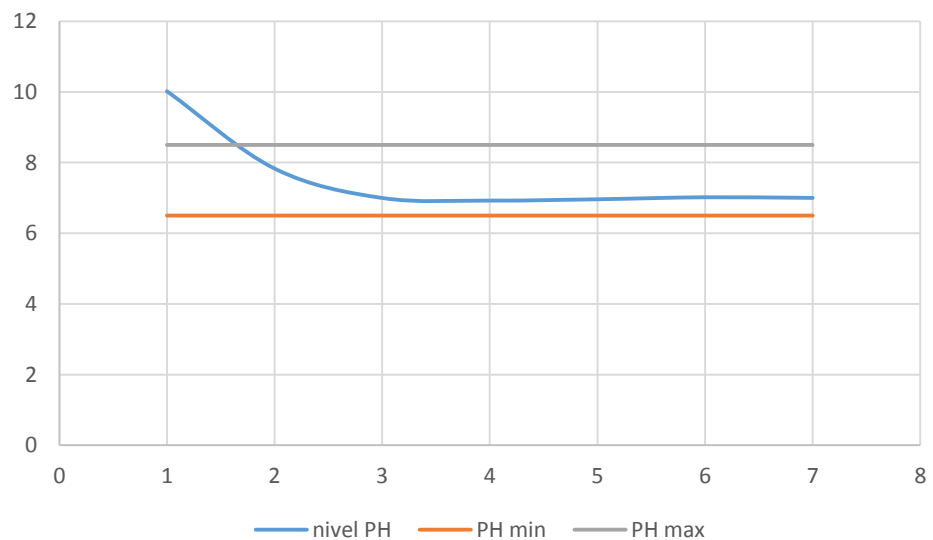


Figura 69. Sexto muestreo con el sistema de control PID.

Tabla 21. Registro de prueba 6 sobre la regulación de PH

t(min)	nivel PH	PH min	PH máx.
0	10.02	6.5	8.5
1	7.831	6.5	8.5
2'30"	6.999	6.5	8.5
3	6.925	6.5	8.5
3'30"	6.962	6.5	8.5
4	7.018	6.5	8.5
5	7	6.5	8.5

En la imagen se muestra el arranque del sistema a mitad de semana, cuando se realiza limpieza química con alcalinos.

Como se muestra, al inicio el nivel de PH, se inicia con un nivel de PH 10, se encuentra fuera de rango, en estas condiciones, para alcanzar el PH óptimo, no se dosifica soda hasta que el sistema lo considere necesario, según los cálculos realizados en el AUTO TUNNING del control PID.

Observamos también que al minuto 2'30" ya se reguló según el valor de la consigna (7), y se mantiene ahí durante todo su proceso.

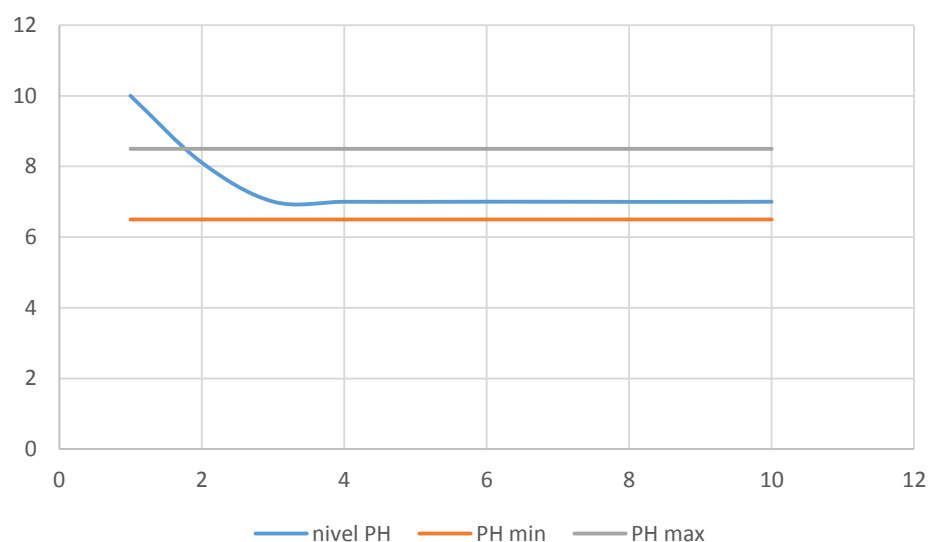


Figura 70. Séptimo muestreo con el sistema de control PID.

Tabla 22. Registro de prueba 7 sobre la regulación de PH

t(min)	nivel PH	PH min	PH máx.
0	10	6.5	8.5
1	8.111	6.5	8.5
2	7.006	6.5	8.5
2'30"	7.001	6.5	8.5
3	6.999	6.5	8.5
3'30"	7.003	6.5	8.5
4	7.002	6.5	8.5
5	6.999	6.5	8.5
6	6.998	6.5	8.5
7	7.002	6.5	8.5

Al igual que el análisis anterior, también se consigue su regulación, sin embargo, se observa una pequeña caída entre el minuto 3 y el minuto 3'30" el cual no fue registrado, las muestras se tomaron según lo especificado en la imagen.

La regulación es más rápida en estas condiciones, pues se trata de reducir el PH sin tener que dosificar soda.

Luego de realizar las pruebas debidas tomadas en un muestreo de 1 minuto se pudo observar que el control automático del sistema mediante la autorregulación del PH utilizando el control PID, logro disminuir las pérdidas por regulación a la mitad del tiempo que lo realizan los maquinistas, tanto al inicio como a mitad de semana, esto se ve reflejado significativamente en los volúmenes de producción por turno, asimismo la cantidad de envases que se despachan por cada turno aumento en un 15% aproximadamente.

3.5. ESQUEMATIZACIÓN DE UN SISTEMA DE MONITOREO A DISTANCIA DEL PROCESO DE ÓSMOSIS INVERSA

Parte del proceso de automatización y optimización del sistema, es la supervisión del mismo, lo cual se busca que el sistema pueda ser monitoreado continuamente, no solo por el personal de operaciones, sino por un sistema de monitoreo y/o supervisión a distancia, aun cuando el operador no se encuentre dentro de la sala de proceso.

Es por ello que se diseñó dos sistemas de supervisión. Uno de manera remota por medio de una red Ethernet, y otra por medio de una red inalámbrica, usando una red GPRS.

Para ello se especificará cada una de ellas.

3.5.1. Supervisión vía remota utilizando LABVIEW- OPC SERVER

LabVIEW es un potente software que permite realizar funciones de simulación de sistemas electrónicos, eléctricos, hidráulicos, neumáticos y mecánicos; esquematizar proyectos para plantas de producción, sistemas automatizados de control, y así mismo también supervisar el sistema en tiempo real.

Este potente software cuenta con una plataforma de control y supervisión en tiempo real, contando con un servidor de datos llamado OPC SERVER, este servidor interconecta datos con el servidor del controlador programable lo muestra en un ordenador o una central de monitoreo en red SCADA, este puede ser realizado a través de un protocolo de red universal, para nuestro caso será ya sea por internet o por medio de una red industrial en sistema SCADA, por ejemplo.

El monitoreo se dará en tiempo real si fuese el caso de utilizar un computador industrial, utilizaría una plataforma adicional llamada REAL TIME MODULE que maneja sistemas operativos industriales como por ejemplo WINDOWS EMBEBIDO o en el caso de Linux si así lo requiere. Sin embargo, para nuestro caso particular utilizaremos

una red Ethernet conectado de manera directa entre el controlador (PLC) y una estación central de monitoreo (PC).

A. Creación de proyecto en LabVIEW

A continuación, se mostrará los pasos para la creación del proyecto de supervisión del sistema de ósmosis inversa con el software LABVIEW.

Lo primero que se tendrá que hacer es abrir el programa LabVIEW, en una hoja nueva se crea el proyecto con el nombre “ÓSMOSIS INVERSA”.

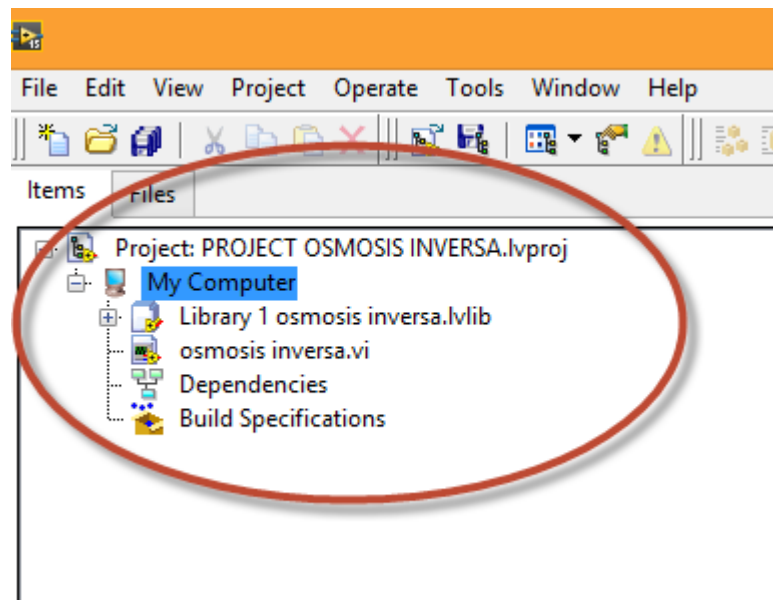


Figura 71. Creación de la planta virtual del ósmosis inversa.

Luego en la nueva hoja se irá diseñando la planta, con la utilización de la librería incluida se irá conectando los equipos que serán útiles para el diseño, en nuestro caso será bombas, tanques, tuberías, lámparas de indicación LED, entre otros, tal como se muestra en la imagen.

Para la toma de lectura, se necesitará direccionar las marcas y/o entradas o salidas del programa.

Para eso se necesitará configurar en el OPC SERVER el tipo de controlador automático, además de ello asignar la dirección IP a la cual se conectará el servidor.

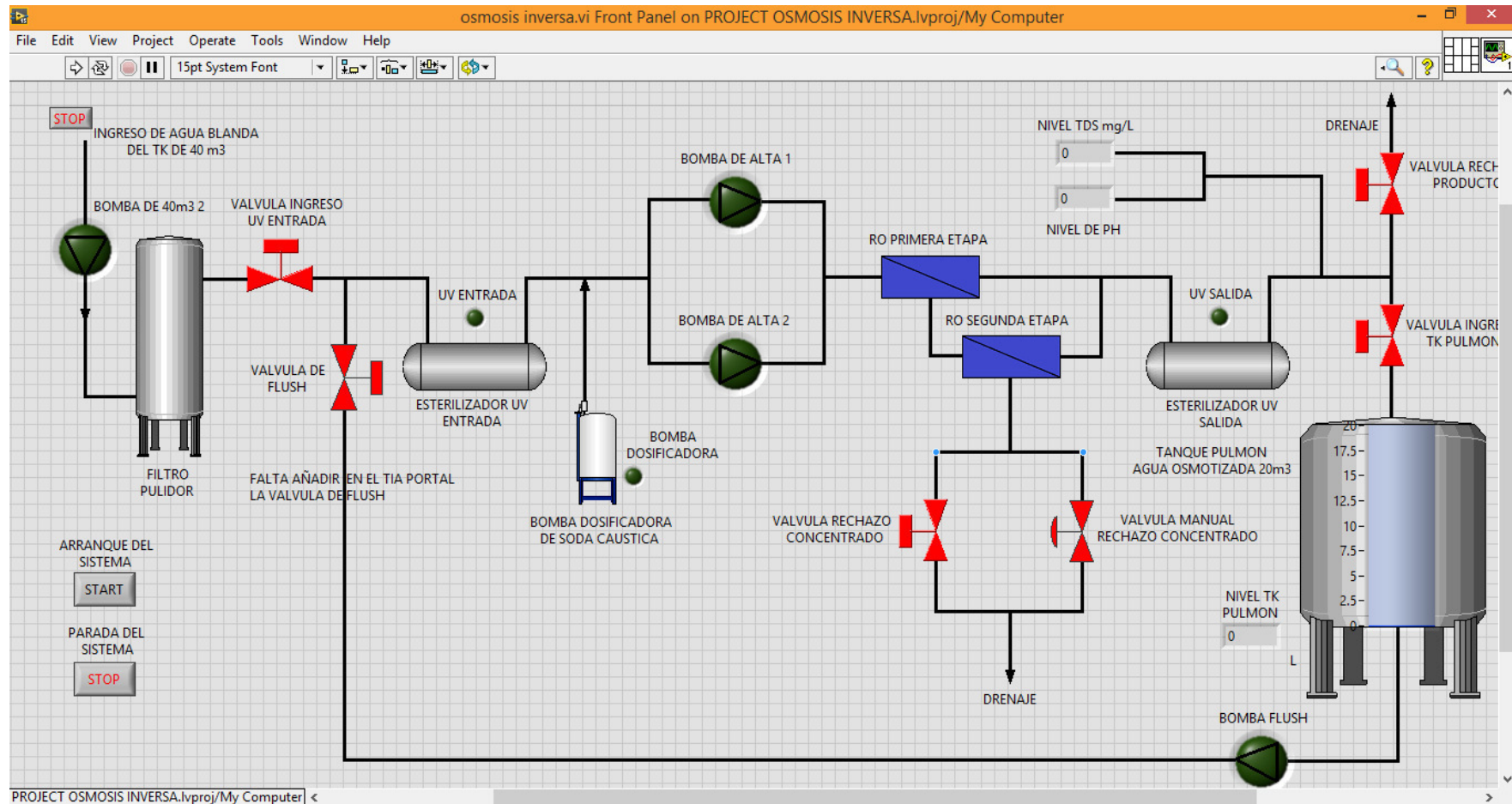


Figura 72. Planta virtual del sistema de ósmosis inversa.

En la imagen se muestra la planta virtual diseñada tal como se desarrolla en la sala de ósmosis, asimismo se tiene variables visibles de sus respectivas señales análogas como son el PH, TDS, y nivel del tanque de agua osmotizada.

Luego de ello se creará un nuevo proyecto en el OPC SERVER con el mismo nombre “ósmosis inversa”, dentro de ella se creará la librería con los tags que son las direcciones digitales y analógicas que interconectarán con el PLC. Estos “tag” tendrán los mismos nombre y direcciones que las que están en el PLC hablemos solo de las entradas y salidas físicas que controlan el sistema, y las analógicas (ellas se visualizarán en la planta diseñada en LabVIEW).

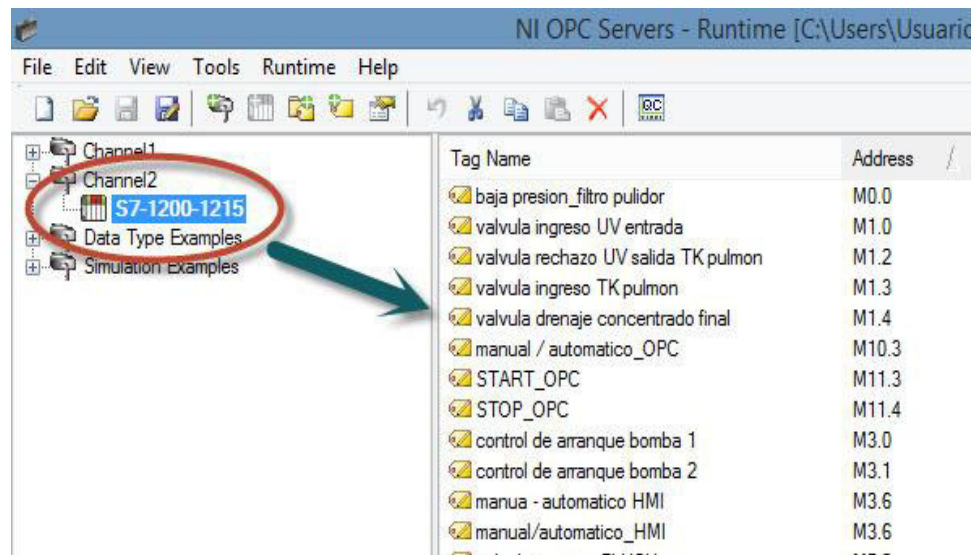


Figura 73. Determinación de las variables del CPU.

Estos “tag” se identificarán si son booleanas, reales, WORD o String, ya sea el caso. Como se observa se tiene dos canales, para nuestro caso se crea el canal dos, donde se conectará nuestro servidor a la base de datos del LabVIEW, en el canal dos está registrado toda la información requerida para la adquisición de datos, asimismo el intercambio de información con el PLC.

Se optó por registrar cada “tag” con el mismo nombre tal como aparece en la programación hecha en el TIA PORTAL, esto para evitar confusión en la programación.

B. Creación del diagrama de bloques

En la ventana de LabVIEW cada objeto designado, ya sea una lámpara un switch o una bomba, automáticamente se arrastra a una ventana de “diagrama de bloque” en esta ventana se crea un bloque con esta designación, sobre ella se añadirá la dirección del “tag” creado en el OPC (de esta manera se enlaza el OPC con el LabVIEW).

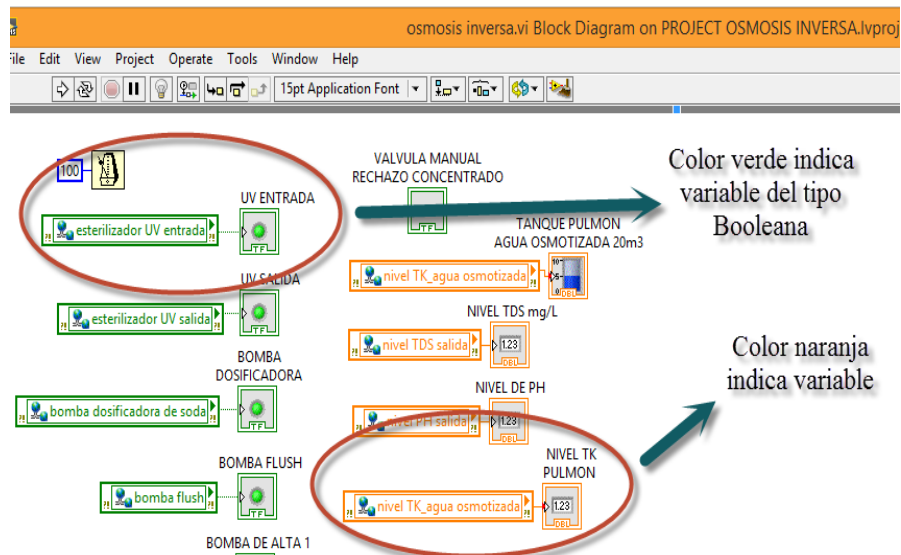


Figura 74. Bloques de conexión a la interfaz del OPC SERVER.

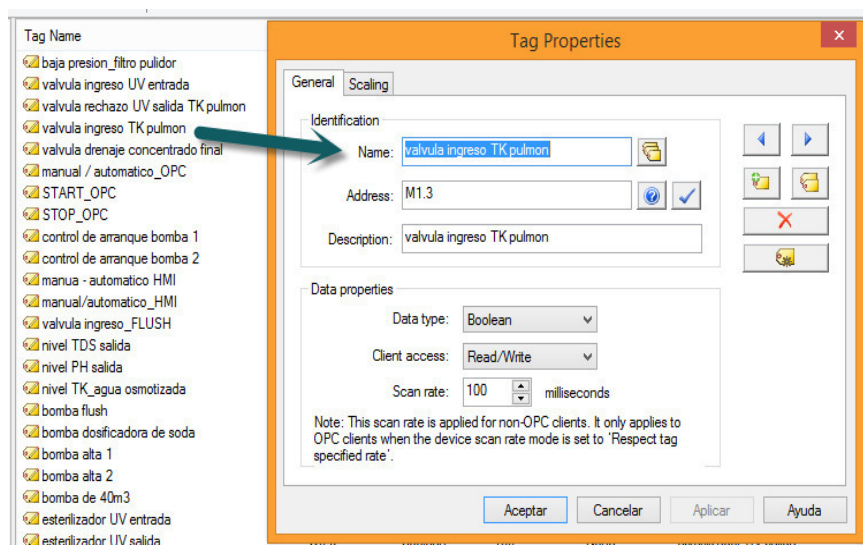


Figura 75. Configuración de las entradas y salidas virtuales.

Para ello en la ventana del OPC se configura la ruta de conexión que en este caso será el PLC con la marca, modelo, tipo y también su dirección IP del mismo.

Cuando se designe la configuración del hardware con el que se enlazará, este buscará el host por medio de la dirección IP que se le asigne, si es conexión punto a punto o por medio de un switch, o ya sea por medio de un router, se añadirá otras opciones más. El OPC buscará la ruta y se conectará directamente con el equipo, leerá los datos del PLC y los lanzará hacia el LabVIEW para poder ser leído de manera visual y también en un bloque del servidor en online llamado "OPC CLIENT".

Cabe recalcar que OPC SERVER es un servidor de datos, es decir este tomará lectura de los datos del PLC tanto digitales como analógicos y los transmitirá al LabVIEW para su procesamiento.

En nuestro caso no solo se supervisará, sino que también se podrá controlar el sistema desde la estación de monitoreo, es decir, tener el control del arranque y parada del sistema.

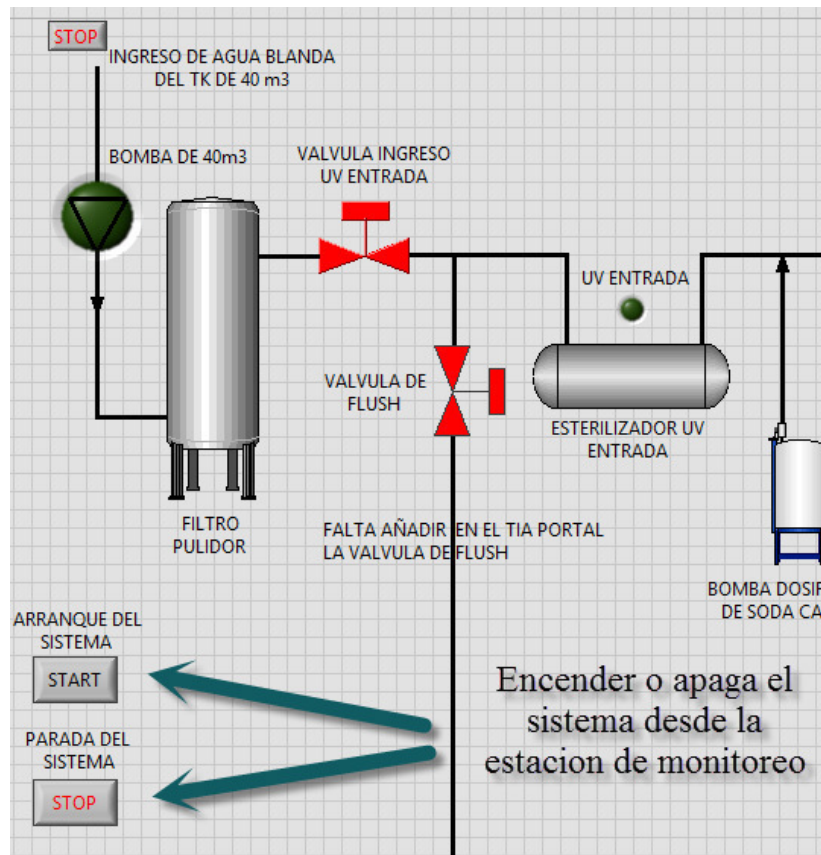


Figura 76. Control del sistema desde la estación virtual.

Asimismo, la plataforma de OPC SERVER tiene una opción de monitoreo en modo “online” de las variables, nos referimos al OPC CLIEN, por medio de ello se visualiza las variables en modo online en plena conexión del sistema.

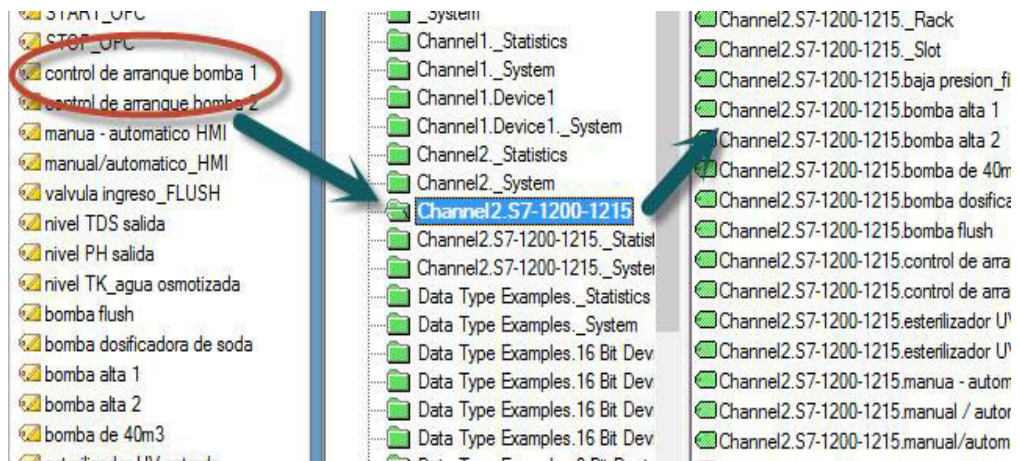


Figura 77. Enlace servidor-cliente.

3.5.2. Supervisión inalámbrica del sistema por medio de una red GPRS

En nuestro proyecto se ha implementado un sistema de monitoreo de manera inalámbrica utilizando un módulo de comunicación configurable para protocolos GSM y GPRS.

Para nuestro caso se decidió por la red GPRS ya que cualquier usuario de un dispositivo móvil puede enviar mensajes de texto en cualquier momento, pero no todos podrían enviar correos electrónicos en cualquier momento. El configurarlo para envío de correos electrónicos por medio de la red GPRS, limitaría la supervisión, puesto que en algún momento el administrador del sistema no podría contar con paquetes de datos o internet para poder leer los correos, sin embargo, todos contarían con un dispositivo móvil, al cual podría enviar y recibir mensajes de texto, a menos que se encuentre ubicado en una zona donde la red móvil no podría llegar.

Para el desarrollo del sistema de monitoreo inalámbrico se optó por utilizar el módulo de comunicación CP 1242-7 de la marca SIEMENS. Este será conectado al PLC, se deberá contar también con una antena omnidireccional y una tarjeta SIM de cualquier operador móvil local (claro, movistar, entre otros.).

Para ello se abrirá la ventana del TIA PORTAL y se entrará en la opción de configuración de dispositivo, se selecciona el módulo y se agregará a la conexión del PLC.



Figura 78. Selección del módulo CP 1242-7.

En el tia portal se selecciona el módulo que se instalará en el rack el cual se conectará al CPU y se agrega al bloque, en este caso se inserta en el slot 101 del rack _0.

Dentro de la librería se encuentra todos los módulos disponibles, en nuestro caso se selecciona el módulo CP1242-7, con el modelo del equipo.

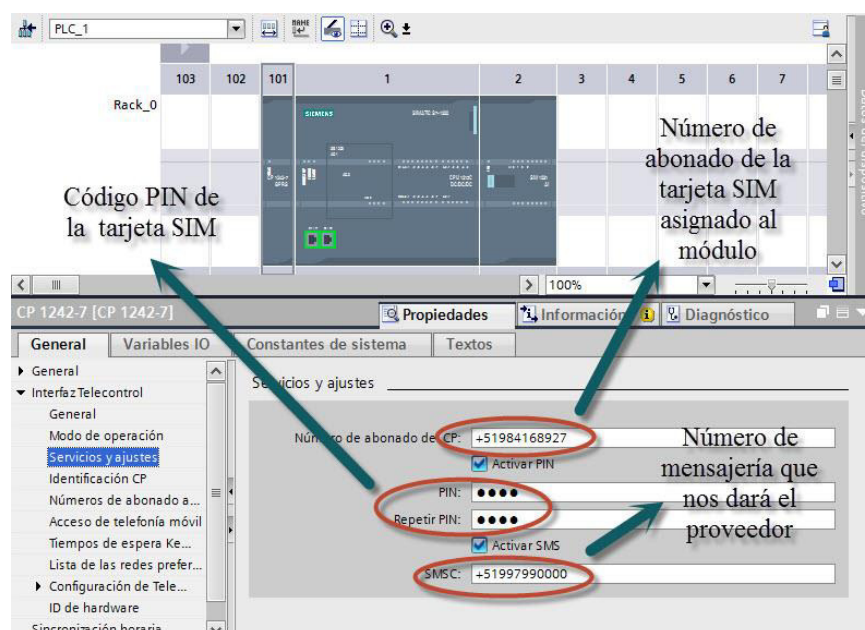


Figura 79. Configuración del módulo CP1242-7.

Para la correcta configuración del módulo, se necesitará el número de mensajería SMSC, el código PIN de la tarjeta SIM, el número de abonado de la tarjeta SIM del proveedor de servicios y asimismo los números de abonado de los clientes que podrán enviar y recibir mensajes de texto del módulo. También se necesitará la ID para la configuración de los bloques de configuración, esta información se encuentra dentro de los datos generales del módulo.

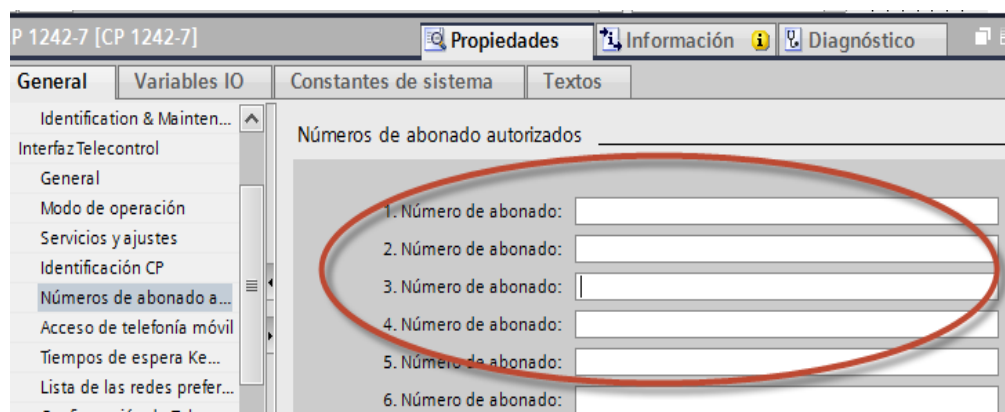


Figura 80. Se agrega los números de abonado para la conexión.

A. Configuración para envío de mensajes de texto

Se creará un bloque del tipo FC con el nombre “envío_SMS”, dentro de la librería se irá a funciones avanzadas y se agregará los bloques TC_CON y TC_SEND. El bloque TC_CON es para configurar la conexión al servicio de mensaje de texto, el bloque TC_SEND es para enviar mensajes de texto.

Como se observa en la figura 80, en el bloque de datos DB para configurar los parámetros de enlace con el operador de servicio, se necesita la ID y la interface, estos permitirán direccionar la comunicación con el bloque de datos DB.

Como se observa en la figura 81, La configuración para el envío de los mensajes de texto con la instrucción TC_SEND, se requiere direccionar el mensaje y el número de abonado al cual se enviará los mensajes destinados.

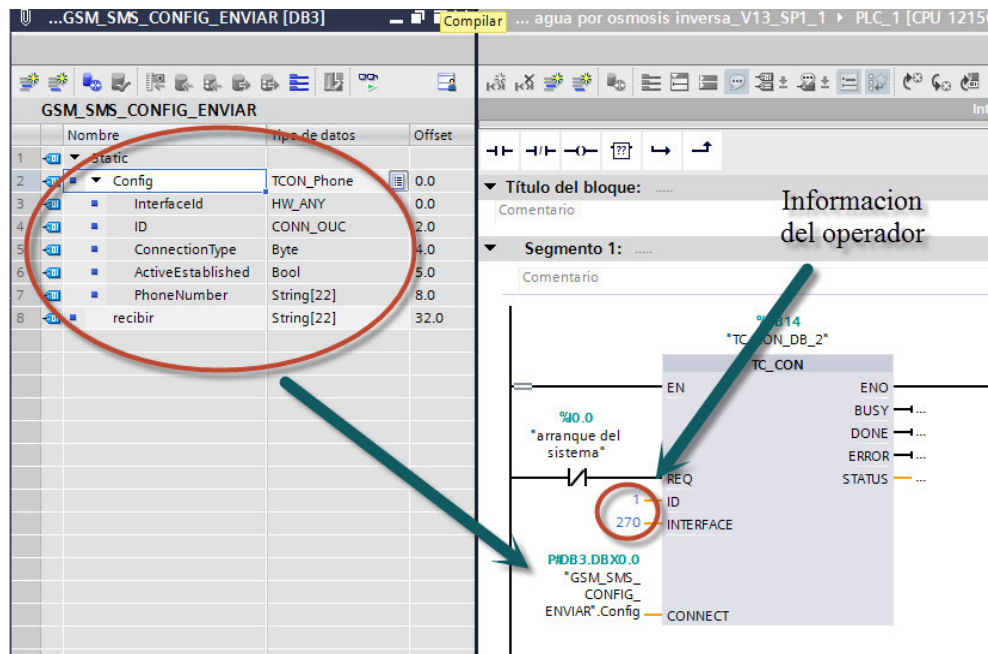


Figura 81. Configuración del bloque TC_CON.

El bloque TC_CON permite la conexión de los bloques TC_SEND y TC_RECV. Este bloque enlaza de tal manera que direcciona el mensaje a un bloque definido donde se envía los datos.

Cada bloque tiene un ID que lo identifica para un grupo definido de bloques. Cuando se envía un mensaje, el bloque que procesa el mensaje, identifica el tipo de ID al cual está conectado, con esta información decide a que numero se le va a enviar el mensaje, puesto que el bloque TC_CON tiene la información del número de abonado al cual se le enviará el mensaje o si va a recibir el mensaje.

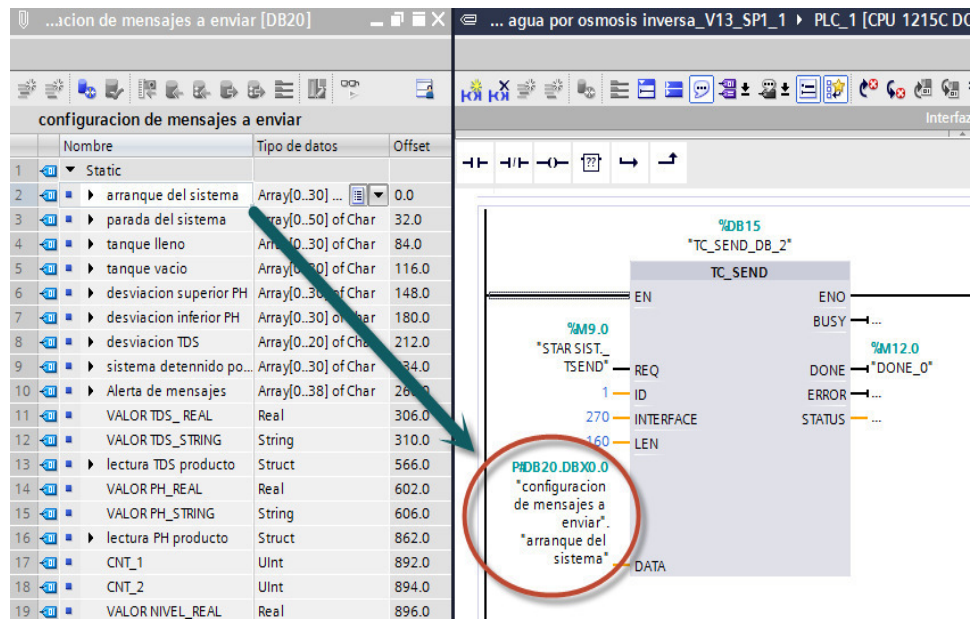


Figura 82. Configuración del bloque TC_SEND.

El diseño y la programación de avisos, alarmas y eventos durante el tratamiento de agua.

Cuando se presente una alarma, por ejemplo, una desviación en el PH del agua, el sistema enviará un mensaje de texto a los clientes informando lo sucedido.

Asimismo, si se presentase un evento, por ejemplo, se inicia el proceso de osmotización del agua, el sistema enviará un mensaje de texto informando lo sucedido.

Es importante recalcar, que si no se tiene saldo en la tarjeta SIM no se podrá enviar mensajes de texto, sin embargo, el sistema no puede saber si tiene o no saldo, es por ello que pensando en ello parte de la programación se agregó un sistema donde se puede consultar el saldo enviando un mensaje de texto al operador de servicio consultando el saldo respectivo. La respuesta se recibe y se muestra en la pantalla HMI, también se agregó un bloque llamado “contador de envío de mensajes” con la finalidad de monitorear cada mensaje enviado, el cual si se tiene menos de diez mensajes disponibles se envía un aviso informando a los usuarios de lo sucedido, permitiendo recargar nuevamente el número de abonado con saldo. También se puede cargar en la memoria interna del sistema como dato el número de mensajes disponibles luego de la nueva recarga para monitorear el consumo de saldo, también se visualiza en la pantalla HMI.



Figura 83. Pantalla para la consulta de saldo.

B. Configuración para recibir mensajes de texto

Para recibir mensajes de texto se creó un bloque del tipo FC con el nombre "Recibir_SMS". Se agrega un bloque de configuración para recibir mensajes de texto que servirá para el bloque FC.

Dentro del bloque FC se agrega las instrucciones avanzadas TC_CON y TC_RECV.

El bloque TC_RECV nos permitirá recibir mensajes de texto. Asimismo, se configura el bloque TC_CON como se mencionó anteriormente, el bloque TC_RECV se configura para recibir los mensajes de texto.

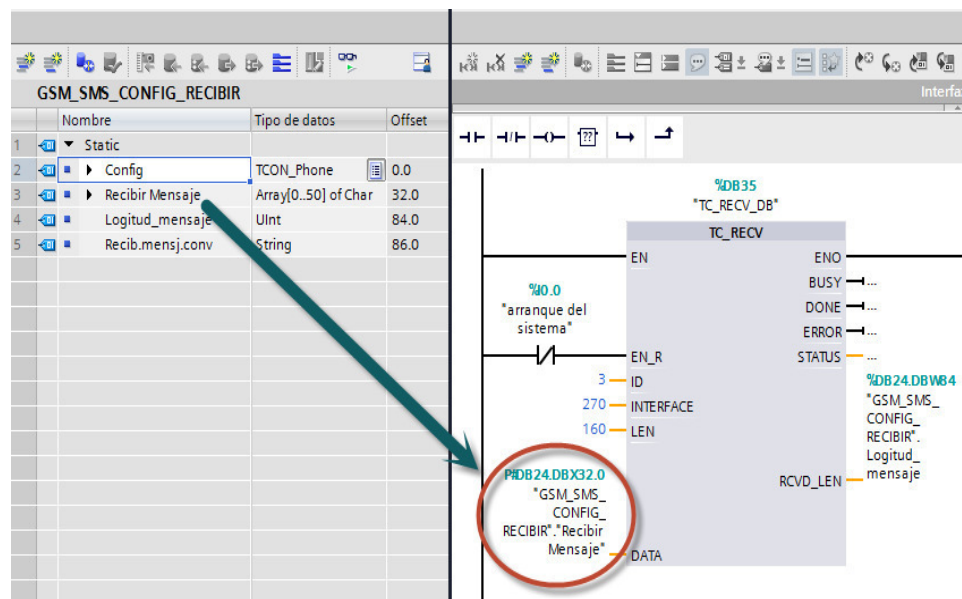
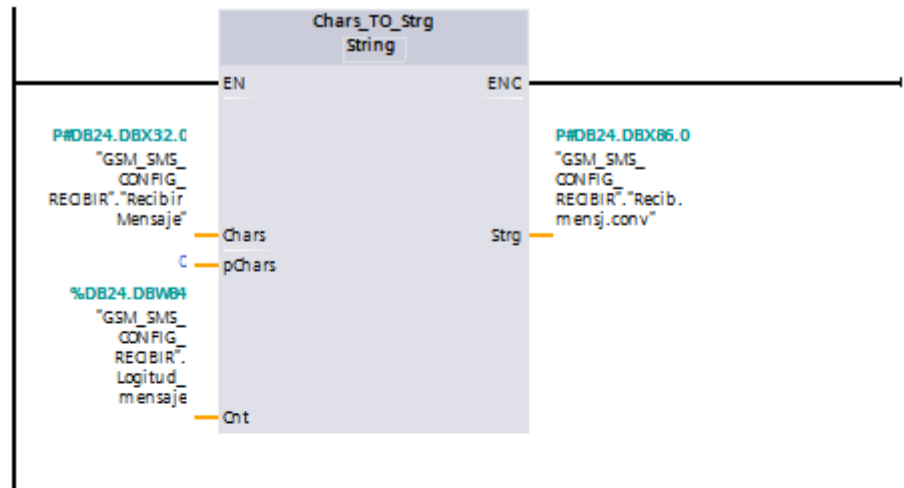


Figura 84. Configuración del bloque TC_RECV.

La intención de recibir mensajes de texto es para actuar de manera directa sobre el sistema, con solo enviar mensajes de texto podemos encender o apagar el sistema, solicitar información del estado de las variables activar o desactivar alguna señal en el controlador.

Se abre el bloque FC para recibir mensajes y luego de configurar la instrucción TC_RECV tenemos que procesar el mensaje,

puesto que el tipo de dato recibido no serviría para nuestra aplicación, por ello utilizaremos la instrucción Chars_TO_Strg, esta instrucción convierte el tipo de dato Array of Char a String para compararlo con un patrón definido y así actuar directamente sobre el sistema según las necesidades del caso.



Segmento 4:

control via SMS para el arranque del sistema



Figura 85. Procesamiento de mensajes recibidos.

3.5.3. Resultados obtenidos sobre la implementación del sistema de monitoreo a distancia del ósmosis inversa

Se realizaron pruebas de comunicación y conectividad del sistema autónomo (PLC-LABVIEW) mediante el servidor OPC SERVER. Asimismo, la comunicación y supervisión del sistema mediante un operador a través de mensajes de texto.

A continuación, se presentarán las pruebas realizadas.

Al inicio del arranque, se realiza las regulaciones iniciales, que son tanque vacío luego del saneamiento, sistema en automático, operatividad de los equipos UV, entre otros. Luego de ello se procederá a encender el sistema, sin embargo, cabe mencionar que hay tres maneras de encender y apagar el sistema: mediante un pulsador externo, mediante el mismo monitoreo remoto del LabVIEW y a través de mensajes de texto. Para nuestro caso mostraremos a través de mensajes de texto.

Primero encender el sistema: desde el móvil se envía un mensaje de texto con el siguiente mensaje: "Encender sistema", se recibe el mensaje en el controlador, procesa el mensaje y ejecuta el servicio, luego de ello responde al operador enviando el siguiente mensaje "arranque del sistema". El sistema se ejecuta con normalidad.

Se solicita saber el valor actual del TDS del agua osmotizada, para ello se le envía el siguiente mensaje: "Solicitud del nivel de TDS", el sistema recibe el mensaje, procesa la información y responde con el valor solicitado bajo el siguiente formato: "Nivel de TDS producto 12.33mg/L".

Se solicita saber el valor actual del nivel de agua osmotizada en el tanque pulmón, para ello se le envía el siguiente mensaje: "Solicitud del nivel de agua", el sistema recibe el mensaje, procesa la información y responde el valor solicitado bajo el siguiente formato: "Nivel del tanque de agua osmotizada 15.8m3".

Se solicita saber el valor actual del PH del agua osmotizada, para ello se le envía el siguiente mensaje: “Solicitud del nivel de PH”, el sistema recibe el mensaje, procesa la información y responde el valor solicitado bajo el siguiente formato: “Nivel de PH producto 5.94”

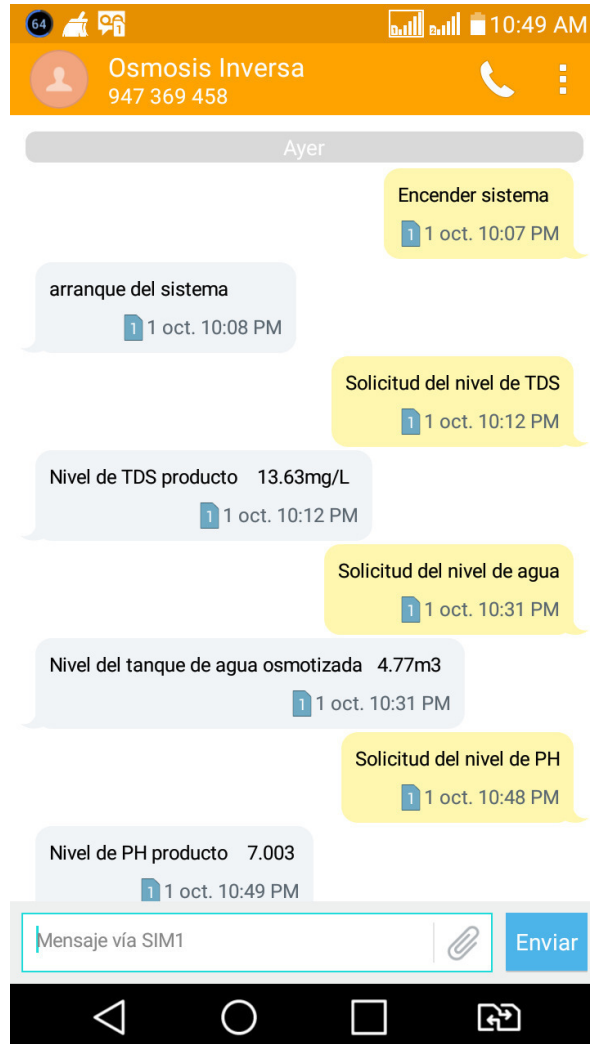


Figura 86. Pruebas realizadas de mensajería de texto.

Como se muestra en la imagen, los mensajes son confirmados frente a cada petición de operador.

Cabe mencionar que dependiendo del plan que se tenga podría ser limitado el número de mensajes disponible para que el módulo podría enviar, por eso se recomienda un plan post pago.

Asimismo, se diseñó un sistema que controla los mensajes de texto, un contador descendente, que, al tener menor a 10 mensajes

disponibles, el sistema envía un mensaje de alerta indicando que se tiene menor a 10 mensajes disponibles para enviar. Tal como se muestra en la imagen adjunta.

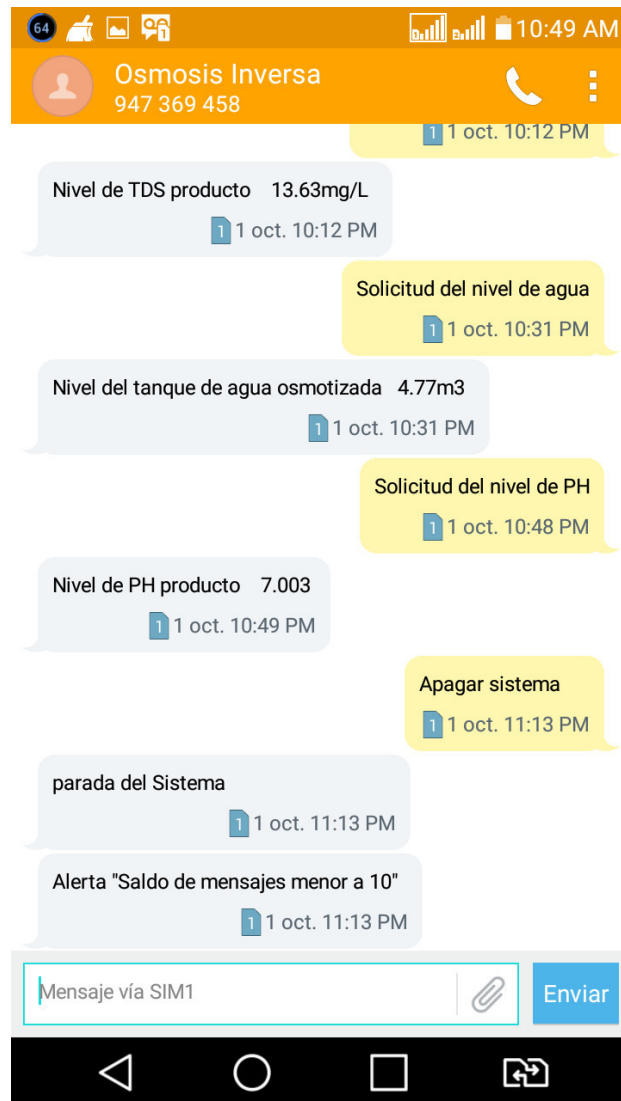


Figura 87. Alerta de saldo de mensajería disponible

Como se observa en el último mensaje, se envía el mensaje de alerta avisando que quedan pocos mensajes disponibles.

Teniendo en cuenta esto, se confirmó dicha información con los valores medidos por la supervisión remota implementada en el LABVIEW.

La medición se realiza en tiempo real, lo cual se muestra que los valores emitidos en los mensajes son iguales a los medidos por el OPC SERVER y que se puede visualizar en el LABVIEW.



Figura 88. Monitoreo en tiempo real del PH y Conductividad desde la estación de monitoreo.

Como se observa, se tiene los valores de PH y TDS del agua osmotizada, que se confirma con los valores emitidos en el mensaje de texto.

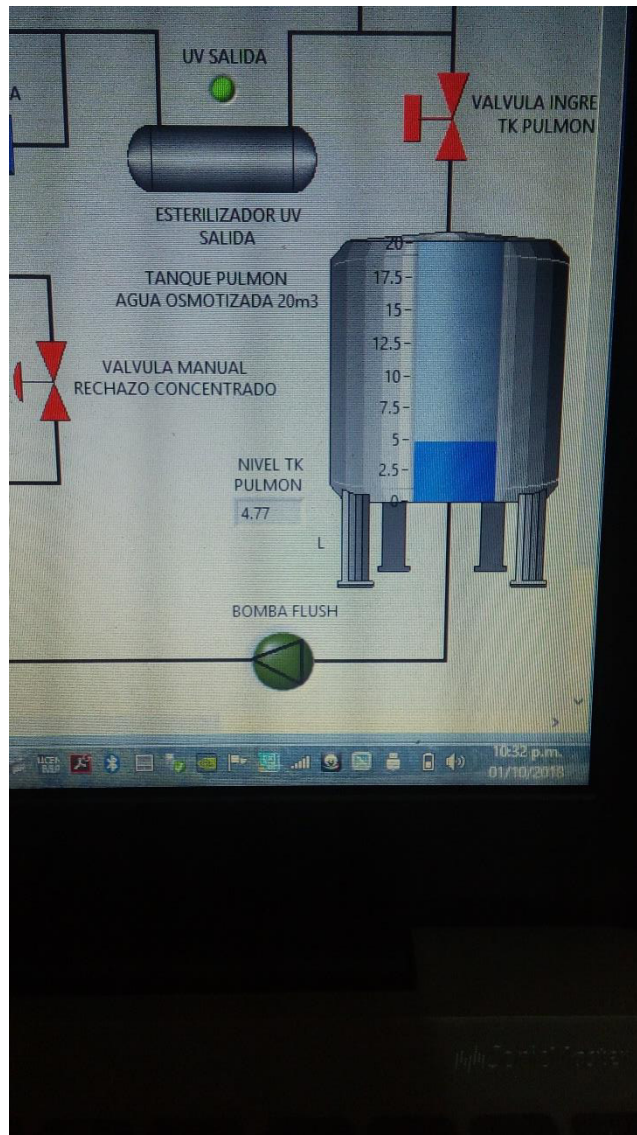


Figura 89. Monitoreo en tiempo real del nivel de agua osmotizada desde la estación de monitoreo.

Se observa el nivel del tanque de agua osmotizada, asimismo se confirma con el valor del mensaje de texto.

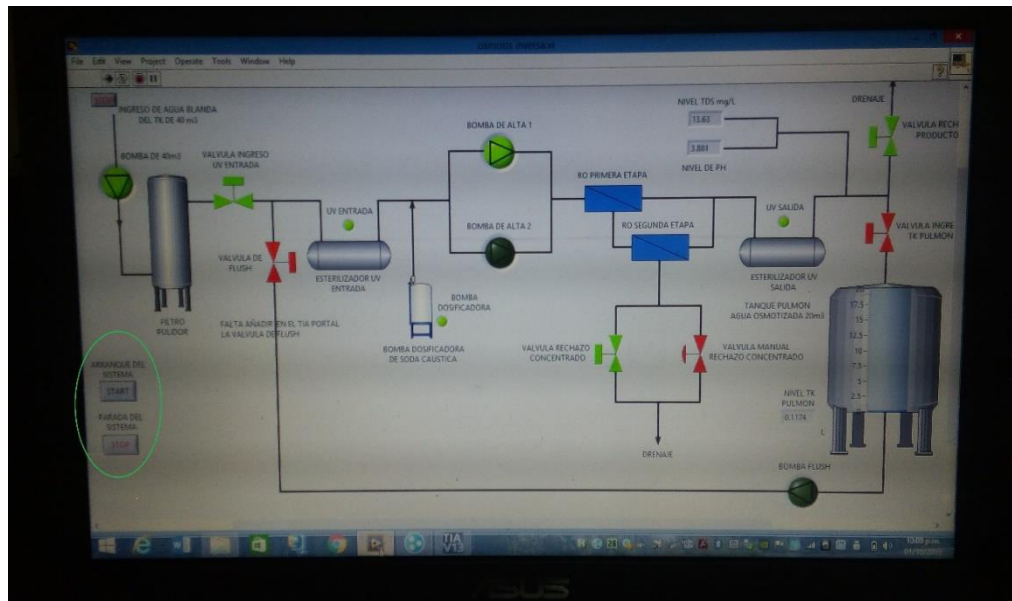


Figura 90. Supervisión del sistema de ósmosis inversa desde la estación de monitoreo.

Como se puede observar, se tiene dos pulsadores, unos de encendido y otro de apagado del sistema, esto si se quiere controlar desde la cabina de monitoreo

CAPÍTULO IV ANÁLISIS DE COSTO Y BENEFICIO

4.1. ANÁLISIS DE COSTO

4.1.1. Recursos humanos

Se tuvo que realizar seguimiento continuo a las variables de control dentro de los procesos de ósmosis inversa, lo cual demandó trabajo en horarios fuera de trabajo, turnos de amanecida, recopilación de información clasificada del área de producción, mantenimiento y calidad.

Asimismo, el diseño e implementación del sistema implicó estudio, análisis y evaluación del proceso en simuladores, pruebas a larga distancia, programación LADDER, incluyendo el control PID en el software TIA PORTAL, programación del ARDUINO UNO, programación de la comunicación en red con el LABVIEW y servidor OPC-SERVER.

Ajustes y calibración de los transmisores, módulo de entrada y salida analógica y de comunicación inalámbrica.

Tabla 23. Presupuesto sobre recursos humanos

PRESUPUESTO DE SOFTWARE DEL PROYECTO	
Desarrollo de la programación en el plc	S/. 2,500.00
Desarrollo de la programación en el arduino	S/. 200.00
Desarrollo de la programación y enlace LabVIEW	S/. 2,000.00
Desarrollo del enlace de comunicación del OPC	S/. 2,000.00
Desarrollo de la comunicación GPRS con prov. servicio	S/. 1,500.00
Pruebas, ajustes y calibración en el sistema osm.inv.	S/. 3,500.00
Consumo de energía	S/1,000.00
Mano de obra	S/3,000.00
Costo total 3	S/. 15,700.00

4.1.2. Recursos de hardware

Se realizó la compra de la CPU para la implementación del sistema, asimismo los módulos análogos y digitales para las periferias del CPU.

Además, se utilizó un módulo de comunicación para la comunicación por mensajería de texto con su antena omnidireccional.

Se consideró los transmisores y potenciómetros para la implementación. También los materiales necesarios para la implementación del prototipo de prueba para el control PID del sistema. Además de ello también se consideraron otros recursos (cable, bornera, canaleta, entre otros).

Tabla 24. Presupuesto de materiales y equipos

PRESUPUESTO DE EQUIPOS DEL CONTROLADOR	
CPU 1215 dc/dc/dc	S/. 2,400.00
Módulo ent. análogo. sm1231	S/. 1,000.00
Módulo cp 1242-7	S/. 2,300.00
Signal board sb 1232 aq	S/. 500.00
Fuente sitop 24vdc	S/. 1,000.00
Pantalla hmi 6"	S/. 2,300.00
Antena quad band	S/. 300.00
Transmisor temp x3	S/. 1,800.00
Pulsadores superficiales	S/. 10.00
Relé 24vdc	S/. 45.00
Bornera	S/. 10.00
Llave térmica 16 amp	S/. 40.00
Tomacorriente	S/. 5.00
Cable unipolar	S/. 10.00
Cable mellizo	S/. 10.00
Canaleta	S/. 30.00
Diseño y fabricación de soporte del controlador	S/. 50.00
Costo total 1	S/. 11,810.00

4.1.3. Recursos de software

Se consideran los equipos y materiales que se utilizaron para armar la maqueta del controlador lógico programable con sus interfaces periféricas, fuente de alimentación, panel touch, entre otros. Asimismo, se consideró la construcción de la maqueta de soporte de los equipos mencionados.

Tabla 25. Presupuesto de materiales y equipos de la maqueta de prueba

PRESUPUESTO DE EQUIPOS DE MAQUETA DE PRUEBA	
Arduino uno	S/. 100.00
Diseño de circuito dimmer	S/. 50.00
Diseño de circuito acondicionador de señal	S/. 20.00
Servomotor mg996	S/. 50.00
Diseño de acoplamiento mecánico (servomotor-potenciómetro)	S/. 200.00
Fuente de alimentación	S/. 50.00
Focos incandescentes	S/. 30.00
Pt100	S/. 500.00
Cooler	S/. 30.00
Socket para foco incandescente	S/. 15.00
Cable mellizo	S/. 10.00
Bornes y conectores para circuitos electrónicos	S/. 20.00
Borneras	S/. 10.00
Diseño y fabricación de maqueta para prueba del controlador PID	S/. 100.00
Costo total 2	S/. 1,185.00

Se consideraron los equipos y materiales para la implementación de la maqueta de prueba del control de dosificación de soda por medio del control PID, entre ellos se mencionan el arduino servomotor, circuito dimmer, acoplamiento mecánico, circuito de acondicionamiento de señal, entre otros.

Se consideraron la inversión en la programación del controlador lógico programable, la comunicación en red mediante el LabVIEW, la configuración GPRS con el proveedor de servicio y la programación del arduino.

Tabla 26. costo total de proyecto

Costo total 1	S/. 11,810.00
Costo total 2	S/. 1,185.00
Costo total 3	S/. 15,700.00
Costo total del proyecto	S/. 28,695.00

Se calculó el costo total del proyecto.

Tabla 27. Costo total en pérdida de producto

Proceso	Flujo de agua utilizada (m3/h)	volumen (m3)	Tiempo. Perd. Semana (min)	volumen perdido (m3)	tiempo de producción (sem)	volumen total perdido(m3)	Costo de volumen total perdido
Proceso sin control PID	70	1.17	20	23.33	72	1680	S/. 40,320.00
Proceso con control PID	70	1.17	10	11.67	72	840	S/. 20,160.00

(*) costo m3 = S/. 24.00

Luego se realiza los cálculos de rentabilidad del proyecto, bajo una estimación de 3 años, iniciando el proyecto en el año 2017 como inversión inicial, hasta el año 2020, si el proyecto es rentable implementarlo, según los costos de pérdida de producción, en función de la devaluación monetaria en el periodo de los tres años estimados. Se muestra el balance en el gráfico adjunto.

4.2 ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD

4.2.1 Flujo de Caja

Tabla 28. Flujo de caja proyectado del sistema

Descripción	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
Ingresos						
Ahorro en costo de producción	S/. -	S/. 20,160.00	S/. 20,160.00	S/. 20,160.00	S/. 20,160.00	S/. 20,160.00
Total de Ingresos	S/. -	S/. 20,160.00	S/. 20,160.00	S/. 20,160.00	S/. 20,160.00	S/. 20,160.00
Egresos						
Inversión Inicial	S/. 28,695.00					
Equipos del controlador	11810					
Pruebas de calibración del equipo	1185					
Software de programación	15700					
Energía eléctrica		S/. 300.00	S/. 300.00	S/. 300.00	S/. 300.00	S/. 300.00
Mantenimiento		S/. 1,000.00	S/. 1,000.00	S/. 1,000.00	S/. 1,000.00	S/. 1,000.00
Total de Egresos	S/. 28,695.00	S/. 1,300.00	S/. 1,300.00	S/. 1,300.00	S/. 1,300.00	S/. 1,300.00
Flujo de caja	S/. -28,695.00	S/. -9,835.00	S/. 9,025.00	S/. 27,885.00	S/. 46,745.00	S/. 65,605.00

4.2.2 Análisis del VAN

Se toma en cuenta un monto de inversión de S/28,695.00 este monto implica el diseño e implementación del proyecto, incluyendo las pruebas, ajustes y calibración de este.

Se estima una tasa de inflación de 9% evaluado en un periodo de 5 años desde la implementación.

Como se observa a partir del año 1 se obtiene un ahorro de S/. 20,160.00 soles y según el flujo de caja proyectado también se puede apreciar que a partir del año 2 ya se puede estar hablando de un retorno de la inversión realizada.

Para la determinación del valor del VAN se tomará en cuenta que el dinero se devalúa con el pasar el tiempo, considerando una tasa de inflación de 9%.

Tomando esto como dato para evaluar si el proyecto es rentable, el cálculo del VAN es: S/67,165.00; al ser un valor positivo este resultado nos muestra que efectivamente el proyecto es rentable, al ser el VAN mayor a cero nos está garantizando la rentabilidad del proyecto. En la tabla 28 se puede apreciar el resultado del cálculo del VAN.

4.2.3 Análisis del TIR

Según los resultados de los cálculos mostrados, en el análisis del TIR muestra un 44%.

Esto nos quiere decir que el proyecto es efectivamente rentable y que se puede invertir con una tasa Interna de retorno de 44% para no tener pérdida en el proyecto.

Por lo general la tasa de inversión en un proyecto es menor a 20%

Tabla 29. Cálculo de VAN y TIR

Tasa de Descuento = 9%

Año	Flujo Proyectado	Flujo proyectado c/ tasa de dscto
Año 0	-28695	-28695
Año 1	-9835	-9023
Año 2	9025	7596
Año 3	27885	21532
Año 4	46745	33115
Año 5	65605	42639
	VAN	67165
	TIR	44%

Conclusiones

1. Se pierde aproximadamente 35m³ tratando de corregir la desviación al inicio de cada proceso. Cuando el operador no consigue estabilizar el sistema manualmente se genera una parada adicional para realizar una limpieza general del sistema.
2. Al realizar el análisis del sistema, se determinó que las variables de conductividad y PH son las más críticas, cuyo valor de PH oscila entre 6.5 y 8.5; y para la conductividad debe ser menor a 16mg/L. Estas variables afectan directamente al sistema. Las variables de presión, flujo y ORP solo se monitorea para la seguridad del sistema.
3. Se determinó implementar la tecnología de control PID, por tener un sistema realimentado de lazo cerrado para el control de la variable PH. Para este sistema se utilizará un PLC cuyas interfaces son compatibles con las señales de control y se adecua a las condiciones de operación del sistema; además que el algoritmo de programación LADDER es compatible con los módulos de interface. Para la supervisión por mensajería de texto se usará un módulo CP1242-7 y antena omnidireccional, por su compatibilidad con el módulo CPU del PLC, para la supervisión remota se usará una plataforma de adquisición de datos LabVIEW, y servidor OPC-SERVER compatible con el PLC cuyo protocolo de comunicación será TCP/IP por ser un protocolo universal y compatible con el PLC
4. Se implementó un sistema de control PID de lazo cerrado por tener un sistema de control realimentado para la medición del PH. El sistema ha generado un ahorro en tiempo y dinero; el tiempo de corrección en cada arranque del sistema se ha reducido de 20 a 10 minutos, generando un ahorro económico de S/. 20,160.00 soles al año.
5. Se implementó un sistema de supervisión vía remota mediante la adquisición de datos a través del LabVIEW, este monitoreo se da en tiempo real, comparando los valores de medida en el TIA PORTAL y del LabVIEW son casi exactos, además el tiempo de respuesta de las señales

digitales es de 100ms aproximadamente. Se utiliza el protocolo TCP/IP por ser un estándar y compatible con el PLC. En la supervisión vía mensajes de texto se implementó el módulo CP 1242-7 también compatible con el PLC seleccionado y se agregó la programación adecuada para la ejecución de la comunicación. Se realizaron pruebas de comunicación con los operadores de servicio Claro y Entel, siendo este último el seleccionado debido a que se obtuvo mejores resultados y una mejor cobertura, en diferentes ubicaciones geográficas, además de ello, el tiempo promedio de envío y recepción de mensajes de texto es de 1 minuto.

Recomendaciones

1. La antena omnidireccional del módulo CP 1242-7 debe estar estratégicamente ubicada en una zona donde se pueda tener una buena cobertura con el operador de servicio.
2. Se recomienda que el plan contratado con el proveedor de servicio sea post pago para garantizar tener una disponibilidad casi ilimitada de mensajes de texto.
3. La comunicación con el servidor OPC SERVER a través del LABVIEW es por Ethernet, por lo que se recomienda utilizar cable STP (par trenzado apantallado), para brindar una alta inmunidad al ruido eléctrico y garantizar una correcta transmisión de datos en la red.

Referencias

- Algarín, C. R., Llanos, R. C., y Sánchez-Hernández, A. (2012). *Diseño de un sistema Scada basado en labview, implementando el protocolo de comunicación inalámbrica zigbee*. Recuperado de <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=496250733005>
- Astrom, K. J. (2009). *Control PID avanzado*. Recuperado de <https://lup.lub.lu.se/search/publication/1451723>
- Cancino, B., Ulloa, L., y Astudillo, C. (2009). Presión osmótica de soluciones salinas y azucaradas: su influencia en procesos de osmosis inversa en la industria de alimentos. *Información Tecnológica*, 20(3), 55-64. DOI:10.1612/inf.tecnol.4058ait.08
- García-Olmos, C. (2002). *Aplicación de la ósmosis inversa y nanofiltración de aguas para calderas* (Tesis doctoral). Recuperado de <http://digibuo.uniovi.es/dspace/handle/10651/16153>
- Luque, J. (2013, 13 de octubre). *Enviar SMS con CP 1242-7*. Recuperado de http://plc-hmi-scadas.com/TIA_Portal_1200_SMS.php
- Lajara-Vizcaíno, J. R., y Pelegrí-Sebastiá, J. (2011). *LabVIEW: entorno gráfico de programación*. Recuperado de <https://bit.ly/2JAVY0h>
- Mazzone, V. (2010). *Controladores PID*. Recuperado de <http://www.eng.newcastle.edu.au/~jhb519/teaching/caut1/Apuntes/PID.pdf>
- Molina-Pearanda, J. M., y Barreiro-Chevez, L. J. (2015). *Diseño e implementación de un control de planta de nivel Gunt RT450 utilizando un Plc Simatic S7 1200 con (TIA PORTAL) e implementación de una interfaz para usuario diseñada en Labview con comunicación mediante OPC* (Artículos de tesis de grado). Recuperado de <http://www.dspace.espol.edu.ec/xmlui/handle/123456789/29948>
- Rivas-Perez, R. y Sotomayor, J. (octubre, 2014). *Control predictivo generalizado de las variables críticas de una unidad de ósmosis inversa*. Ponencia presentada en Memorias del XVI Congreso Latinoamericano de Control Automático "CLCA14". Recuperado de <https://bit.ly/2WIPBnl>
- Semino-Zelada, F. F. (2015). *Producción de agua de mesa por ósmosis inversa para autoabastecimiento de UDEP* (Tesis para optar el título de Ingeniero Industrial y de Sistemas). Recuperado de <https://pirhua.udep.edu.pe/handle/11042/2238>.
- Siemens AG. (2014). *Hojas técnicas de CP 1242-7*. CP, 1242-7. Recuperado de http://media.automation24.com/manual/es/61029644_BA_CP-1242-7_76.pdf

Silva Conde, A. A. (2016). *Implementación de un sistema automatizado para el reservorio 66 del Sistema de Riego Chambo-Guano* (Tesis de maestría)
Recuperado de <http://dspace.esoch.edu.ec/handle/123456789/6118>.

Glosario

- Transmisor. Dispositivo electrónico que convierte una variable medible en una señal eléctrica
- Sensor dispositivo electrónico que mide frente a un estímulo físico/químico emite una señal eléctrica.
- Flujo. Es la cantidad en volumen que pasa por unidad de tiempo de un fluido.
- TDS. Es la cantidad de sólidos disueltos por unidad de volumen de un fluido
- ORP. Es la cantidad de cloro disuelto por unidad de volumen de un fluido.
- Controladores. Dispositivo electrónico que ejecuta instrucciones en base a un algoritmo de programación
- Lazo cerrado. Circuito cerrado de realimentación para el control de un proceso.
- Ósmosis inversa. método de filtración del agua a través de unas membranas de diminuta porosidad impulsado a una alta presión osmótica.
- Inocuidad. Proceso de conservar la esterilización de un producto u objeto
- Escalamiento. Acondicionamiento de una señal a otra escala medible.
- Programación. Enseñar a un computador a desarrollar una actividad en función a un algoritmo grabado en su memoria interna.
- Reproceso. Volver a procesar un material con la finalidad de alcanzar una mayor pureza
- Presión osmótica. Presión con la que el fluido lograra atravesar las membranas del sistema ósmosis.
- Transductores. Amplificar una señal débil a una escala medible para su procesamiento.

- Procesador. Cerebro de un computador que administra la ejecución de un proceso.
- Sistema. Conjunto de procesos que desarrollan un fin
- Proceso. Etapa que cumple una función para alcanzar el fin común
- Filtración. Atrapar impurezas en una mezcla homogénea
- Nano filtración. Filtración en escala de nanómetros.
- Ultrafiltration. Filtración más fina.
- Partículas. Partes minúsculas de la división de un objeto.
- Agua osmotizada. Agua tratada por el método de ósmosis inversa que contiene un 95% de pureza.
- Monitorización. Observar, vigilar, supervisar algo
- GPRS. Red de Comunicación entre dos o más estaciones.
- Dosificación. Agregar en pequeñas dosis alguna solución sobre otra.
- Hisopado. Prueba rápida de muestreo sobre cuerpos sólidos o líquidos para su posterior análisis.

Anexo

ANEXO A: Datasheet de CPU 1215 DC/DC/DC 6ES7215-1AG40-0XB0

SIMATIC S7-1200, CPU 1215C, compact CPU, DC/DC/DC, 2 PROFINET ports, onboard I/O: 14 DI 24 V DC; 10 DO 24 V DC; 0.5A; 2 AI 0-10 V DC, 2 AO 0-20 mA DC, Power supply: DC 20.4-28.8V DC, Program/data memory 125 KB



General information	
Product type designation	CPU 1215C DC/DC/DC
Firmware version	V4.2
Engineering with	
• Programming package	STEP 7 V14 or higher
Supply voltage	
Rated value (DC)	
• 24 V DC	Yes
permissible range, lower limit (DC)	20.4 V
permissible range, upper limit (DC)	28.8 V
Reverse polarity protection	Yes
Load voltage L+	
• Rated value (DC)	24 V
• permissible range, lower limit (DC)	20.4 V
• permissible range, upper limit (DC)	28.8 V
Input current	
Current consumption (rated value)	500 mA; CPU only
Current consumption, max.	1 500 mA; CPU with all expansion modules

Inrush current, max.	12 A; at 28.8 V DC
PI	0.5 A ² s
Output current	
for backplane bus (5 V DC), max.	1 600 mA; Max. 5 V DC for SM and CM
Encoder supply	
24 V encoder supply	
<ul style="list-style-type: none"> 24 V 	L+ minus 4 V DC min.
Power loss	
Power loss, typ.	12 W
Memory	
Work memory	
<ul style="list-style-type: none"> integrated 	125 kbyte
<ul style="list-style-type: none"> expandable 	No
Load memory	
<ul style="list-style-type: none"> integrated 	4 Mbyte
<ul style="list-style-type: none"> Plug-in (SIMATIC Memory Card), max. 	with SIMATIC memory card
Backup	
<ul style="list-style-type: none"> present 	Yes
<ul style="list-style-type: none"> maintenance-free 	Yes
<ul style="list-style-type: none"> without battery 	Yes
CPU processing times	
for bit operations, typ.	0.08 µs; / instruction
for word operations, typ.	1.7 µs; / instruction
for floating point arithmetic, typ.	2.3 µs; / instruction
CPU-blocks	
Number of blocks (total)	DBs, FCs, FBs, counters and timers. The maximum number of addressable blocks ranges from 1 to 65535. There is no restriction, the entire working memory can be used
OB	
<ul style="list-style-type: none"> Number, max. 	Limited only by RAM for code
Data areas and their relativity	
Relative data area (incl. timers, counters, flags), max.	10 kbyte
Flag	
<ul style="list-style-type: none"> Number, max. 	8 kbyte; Size of bit memory address area
Local data	
<ul style="list-style-type: none"> per priority class, max. 	16 kbyte; Priority class 1 (program cycle): 16 KB, priority class 2 to 26: 6 KB
Address area	
Process image	

• Inputs, adjustable	1 kbyte
• Outputs, adjustable	1 kbyte
Hardware configuration	
Number of modules per system, max.	3 comm. modules, 1 signal board, 8 signal modules
Time of day	
Clock	
• Hardware clock (real-time)	Yes
• Backup time	480 h; Typical
• Deviation per day, max.	±60 s/month at 25 °C
Digital inputs	
Number of digital inputs	14; Integrated
• of which inputs usable for technological functions	6; HSC (High Speed Counting)
Source/sink input	Yes
Number of simultaneously controllable inputs	
all mounting positions	
— up to 40 °C, max.	14
Input voltage	
• Rated value (DC)	24 V
• for signal "0"	5 V DC at 1 mA
• for signal "1"	15 V DC at 2.5 mA
Input delay (for rated value of input voltage)	
for standard inputs	
— parameterizable	0.2 ms, 0.4 ms, 0.8 ms, 1.6 ms, 3.2 ms, 6.4 ms and 12.8 ms, selectable in groups of four
— at "0" to "1", min.	0.2 ms
— at "0" to "1", max.	12.8 ms
for interrupt inputs	
— parameterizable	Yes
for technological functions	
— parameterizable	Single phase: 3 @ 100 kHz & 3 @ 30 kHz, differential: 3 @ 80 kHz & 3 @ 30 kHz
Cable length	
• shielded, max.	500 m; 50 m for technological functions
• unshielded, max.	300 m; For technological functions: No
Digital outputs	
Number of digital outputs	10
• of which high-speed outputs	4; 100 kHz Pulse Train Output
Limitation of inductive shutdown voltage to	L+ (-48 V)
Switching capacity of the outputs	
• with resistive load, max.	0.5 A

• on lamp load, max.	5 W
Output voltage	
• for signal "0", max.	0.1 V; with 10 kOhm load
• for signal "1", min.	20 V
Output current	
• for signal "1" rated value	0.5 A
• for signal "0" residual current, max.	0.1 mA
Output delay with resistive load	
• "0" to "1", max.	1 µs
• "1" to "0", max.	5 µs
Switching frequency	
• of the pulse outputs, with resistive load, max.	100 kHz
Relay outputs	
• Number of relay outputs	0
Cable length	
• shielded, max.	500 m
• unshielded, max.	150 m
Analog inputs	
Number of analog inputs	2
Input ranges	
• Voltage	Yes
Input ranges (rated values), voltages	
• 0 to +10 V	Yes
• Input resistance (0 to 10 V)	≥100k ohms
Cable length	
• shielded, max.	100 m; twisted and shielded
Analog outputs	
Number of analog outputs	2
Output ranges, current	
• 0 to 20 mA	Yes
Analog value generation for the inputs	
Integration and conversion time/resolution per channel	
• Resolution with overrange (bit including sign), max.	10 bit
• Integration time, parameterizable	Yes
• Conversion time (per channel)	625 µs
Analog value generation for the outputs	
Integration and conversion time/resolution per channel	
• Resolution with overrange (bit including sign), max.	10 bit

ANEXO B: Datasheet de sensor electrodo de PH / ORP

Signet 2724-2726 pH/ORP Electrodes



Compatible with ALL Signet pH/ORP Instruments



Flat
Glass



Protected
Bulb

The Signet 2724-2726 pH and ORP Electrodes features a patented reference electrode design and uses the unique foul-proof patented DryLoc® connector. The large area PE reference junction and pathway is constructed to increase the total reference effectiveness and ensure long service life.

The DryLoc® connector with corrosion resistant gold plated contacts readily connects the sensor to the mating 2760 preamplifier or the 2730 sensor electronics. The robust Ryton® threaded sensor body and choice of flat pH, bulb pH, or flat ORP sensing elements provides broad range of chemical compatibility for a wide variety of applications. There are two optional pH sensing versions available, HF and LC. The HF version is for applications where traces of hydrofluoric acid (2% or less) will attack standard pH glass in levels of pH 5 and below. The LC version can be used for low conductivity fluids 20 - 100 µS/cm nominal and below 20 µS when mounted under controlled conditions.

The quick temperature response is available in either a PT1000 or 3 KΩ temperature sensor and allows compatibility with all Signet pH/ORP instruments. The 2724-2726 electrodes are general-purpose sensors ideal for a wide range of applications. The sensors incorporate 1/2 inch NPT or ISO 7/1-R 3/4 threads for installing into standard pipe-fits. They can also be mounted directly into Signet standard fittings, DN15 to DN100 (1/2 to 4 inch)

Features

- Patented reference design for exceptional performance *
- Mounts in Signet standard fittings from DN15 to DN100 (1/2 to 4 in.)
- 1/2" NPT or ISO 7/1-R 3/4 threaded sensors for use with reducing tees DN15 to DN100 (1/2 to 4 in.)
- Special design allows for installation at any angle, even inverted or horizontal.
- Ryton® (PPS) body for broad range of chemical compatibility
- Patented DryLoc® connector with gold plated contacts
- Quick temperature response
- Bulb HF Resistant glass available for trace HF, less than 2% concentration, applications
- Low conductivity sensor available for liquids down to 20 µS/cm
- New! Flat HF resistant glass available for trace HF, less than 2% concentration applications. Especially in applications with abrasive particles or that require extensive probe cleaning

Applications

- Water & Wastewater Treatment
- Neutralization Systems
- Effluent Monitoring
- Sanitization Systems
- Pool & Spa Control
- Aquatic Animal Life Support Systems
- Process Control
- Cooling Towers

*U.S. Patent Nos.: 6,564,751,
7,793,193 B2, 7,867,371 B2 and
8,211,282 B2



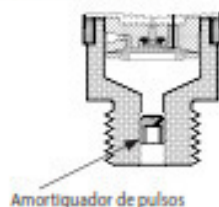
icenta Controls Ltd, Unit 3 The Woodford Centre, Lyander Way, Old Sarum Park, Salisbury, SP4 6BU, UK
Tel: +44 (0)1722 410777 Lo-Call: 8644 543 9944 Fax: +44 (0)1722 326818 Email: sales@icenta.co.uk www.icenta.co.uk

Specifications

General			
Performance	Efficiency	±97% @ 25 °C (77 °F)	
Operating Range	pH	0 to 14 pH	
	ORP	±2000 mV	
	3-2726-LC	Low conductivity fluids; 20 - 100 µS/cm nominal = 20 µS; flow must be less than 150 ml/min in a properly grounded system	
	3-2726-HF, 3-2726-HP	Hydrofluoric acid resistant glass, pH 8 or below; trace HF ≤2%	
Compatibility			
		2750 Electronic (for 8900, 9900, 4 to 20 mA), 2760 Preamplifier (8750)	
Temperature Sensor			
	PT1000 versions	Compatible with Signet 2750 pH/ORP Sensor electronics for connection to a PLC or to the Signet 8900 or 9900 instruments	
	3 KΩ Balco versions	Compatible with the Signet 2760 pH/ORP preamplifier for connection to the Signet 8750 pH/ORP Transmitter and 2750 with 8900 or 9900 instruments	
Process Connection			
	½ in. NPT	ISO 3/1-R ½	Mounts into Signet fittings
Wetted Materials			
	pH	Nylon® (PPS), glass, UHMW PE, PFM	
	ORP	Nylon® (PPS), glass, UHMW PE, PFM, Platinum	
Max. Temperature/Pressure Rating			
Operating Temperature Range*		-10 °C to 85 °C	14 °F to 185 °F
Operating Pressure Range		0 to 6.9 bar (0 to 100 psi) @ -10 °C to 65 °C (14 °F to 149 °F)	
		Linearly Derated 6.9 to 4.0 bar (100 to 58 psi) @ 65 °C to 85 °C (149 °F to 185 °F)	
*Best performance for 2726-HF and 2726-HP sensors is above 10 °C (50 °F)			
Recommended Storage Temperature			
		0 °C to 50 °C	32 °F to 122 °F
The electrode glass will shatter if shipped or stored at temperature below 0 °C (32 °F)			
The performance life of the electrode will shorten if stored at temperatures above 50 °C (122 °F)			
Mounting			
In-Line Mounting	Use the sensor threads		
	Use a Signet standard fitting ½ to 4 in.		
	Sensor can be mounted at any angle		
Submersible Mounting	Use threads on models 2750 or 2760		
	Requires ½ inch NPT or ISO 3/1-R 3/4 male threaded liquid tight extension conduit.		
Shipping Weight			
	0.25 kg	0.55 lb	
Standards and Approvals			
	RoHS Compliant, China RoHS		
	Manufactured under ISO 9001 for Quality, ISO 14001 for Environmental Management and OHSAS 18001 for Occupational Health and Safety		

See Temperature and Pressure graphs for more information.

ANEXO C: Datasheet de transmisor de presión MBS 3000

Condiciones ambientales y del medio para MBS 3050

Aplicación

Los sistemas hidráulicos que experimentan cambios en la velocidad de caudal (como los que tienen lugar al cerrar rápidamente una válvula o cuando una bomba arranca o se detiene) sufren efectos de cavitación, golpe de ariete y picos de presión.

Son problemas que pueden tener lugar a la entrada o a la salida, incluso con presiones de trabajo muy reducidas.

Condiciones del medio

Los líquidos que contienen partículas pueden obstruir la boquilla. Instalar el transmisor en posición vertical minimiza el riesgo de obstrucción, ya que el paso a través de la boquilla se limita al período de tiempo comprendido entre el arranque y el momento en que se llena el volumen muerto situado tras el orificio de la boquilla. La viscosidad del medio apenas afecta al tiempo de respuesta. Incluso con viscosidades de hasta 100 cSt, el tiempo de respuesta no supera los 4 ms.

Datos técnicos
Rendimiento (EN 60770)

Precisión (considerando no linealidad, histéresis y repetibilidad)		≤ ±0,5 % FS (típ.) ≤ ±1 % FS (máx.)
No linealidad, BFSL (conformidad)		≤ ±0,2 % FS
Histéresis y repetibilidad		≤ ±0,1 % FS
Desplazamiento del punto cero térmico		≤ ±0,1 % FS/10 K (típ.) ≤ ±0,2 % FS/10 K (máx.)
Desplazamiento de la sensibilidad térmica (intervalo)		≤ ±0,1 % FS/10 K (típ.) ≤ ±0,2 % FS/10 K (máx.)
Tiempo de respuesta	Líquidos con viscosidad < 100 cSt	< 4 ms
	Aire y gases (MBS 3050)	< 35 ms
Presión de sobrecarga (estática)		δ × FS (1500 bar, máx.)
Presión de rotura		δ × FS (2000 bar, máx.)
Durabilidad, P: 10 – 90 % FS		> 10 × 10 ⁶ ciclos

Especificaciones eléctricas

Señal de salida nom. (con protección contra cortocircuito)	4 – 20 mA	0–5, 1–5 y 1–6 V	0–10 V y 1–10 V
Tensión de alimentación [U _s], con protección de polaridad	9–32 V	9–30 V	15–30 V
Alimentación (consumo de corriente)	–	≤ 5 mA	≤ 8 mA
Dependencia de la tensión de alimentación	≤ ±0,1 % FS/10 V		
Límite de corriente	28 mA (típ.)	–	
Impedancia de salida	–	≥ 25 kΩ	
Carga [R _L] (carga conectada a 0 V)	R _L ≤ (U _s - 9 V)/0,02 A	R _L ≥ 10 kΩ	R _L ≥ 15 kΩ

Datos técnicos
(continuación)
Condiciones ambientales

Rango de temperatura del sensor		-40 – 85 °C	
Rango de temperatura del medio		115 - (0,35 x temp. ambiente)	
Rango de temperatura ambiente (dependiendo de la conexión eléctrica)		Consulte la página 6	
Rango de compensación de temperatura		0 – 80 °C	
Rango de temperatura de transporte/almacenamiento		-50 – 85 °C	
EMC (emisión)		EN 61000-6-3	
EMC (inmunidad)		EN 61000-6-2	
Resistencia de aislamiento		> 100 MΩ a 100 V	
Prueba de frecuencia de red		Según SEN 361503	
Estabilidad ante vibraciones	Sinusoidal	15,9 mm-pp, 5 Hz – 25 Hz 20 g, 25 Hz – 2 kHz	IEC 60068-2-6
	Aleatoria	7,5 g _{rms} , 5 Hz – 1 kHz	IEC 60068-2-64
Resistencia a impactos	Impacto	500 g/1 ms	IEC 60068-2-27
	Caida libre	1 m	IEC 60068-2-32
Protección (dependiendo de la conexión eléctrica)		Consulte la página 6	

Atmósferas explosivas

Aplicaciones en Zona 2	II 3G Ex nA IIC T3 Gc -40C<Ta<+85C	EN 60079-0 y EN 60079-15
------------------------	---	--------------------------

Características mecánicas

Materiales	Piezas en contacto con el medio	EN 10088-1; 1.4404 (AISI 316L)
	Carcasa	EN 10088-1; 1.4404 (AISI 316L)
	Conexiones eléctricas	Consulte la página 6
Peso neto (dependiendo de la conexión de presión y la conexión eléctrica)		0,2 – 0,3 kg

ANEXO D: Datasheet de modulo procesador de comunicaciones CP 1242-7

Datos técnicos

Tabla 8-1 Datos técnicos del CP 1242-7

Datos técnicos		
Referencia	6GK7 242-7KX30-0XE0	
Interfaz de radiofrecuencia		
Conexión de antena	Número	1
	Ejecución	Conector SMA
	Impedancia nominal	50 Ohm
Bandas de frecuencia	GPRS	850, 900, 1800, 1900 MHz
Potencia de emisión máxima	GSM 850, Class 4	+33 dBm ±2dBm
	GSM 900, Class 4	+33 dBm ±2dBm
	GSM 1800, Class 1	+30 dBm ±2dBm
	GSM 1900, Class 1	+30 dBm ±2dBm
GPRS	Propiedades	Clase de Multislot 10 Clase de equipo terminal B Esquema de codificación 1...4 (GMSK)
SMS	Propiedades	Modo operativo saliente: MO Servicio: punto a punto
Datos eléctricos		
Alimentación externa	Tensión de alimentación	24 V DC
	Rango admisible	19,2 ... 28,8 V
	Ejecución	Conector con bloque de bornes, 3 polos
	Sección de cable	
	• Mínimo	• 0,14 mm ² (AWG 25)
	• Máximo	• 1,5 mm ² (AWG 15)
	Par de apriete máximo de los bornes de tornillo	0,45 Nm (4 lb.in.)
Aislamiento galvánico: Alimentador contra circuito interno	710 V DC durante 1 minuto	
Consumo (típico)	De 24 V DC	100 mA
	Del bus de fondo de panel del S7-1200	0 mA
Potencia activa perdida (típica)	De 24 V DC	2,4 W
	Del bus de fondo de panel del S7-1200	0 W

Datos técnicos		
Condiciones ambientales admisibles		
Temperatura ambiente	Durante el servicio con el rack montado en horizontal	0 °C ... +55 °C
	Durante el servicio con el rack montado en vertical	0 °C ... +45 °C
	Durante el almacenamiento	-40 °C ... +70 °C
	Durante el transporte	-40 °C ... +70 °C
Humedad relativa	Durante el funcionamiento	≤ 95% a 25 °C, sin condensación
Forma, medidas y peso		
Formato del módulo	Módulo compacto S7-1200; ancho simple	
Clase de protección	IP20	
Peso		
• Peso neto	•	133 g
• Peso incluyendo embalaje	•	170 g
Dimensiones (an x al x p)	30 x 100 x 75 mm	
Posibilidades de montaje	Perfil DIN estándar	
	Cuadro de distribución	

Encontrará más funciones y datos característicos en el capítulo Aplicación y propiedades (Página 9).

ANEXO E: Datasheet de antena de telefonía móvil ANT794-4MR

Denominación del tipo de producto

Antena ANT794-4MR

Antena de telefonía móvil ANT794-4MR para 2G/3G/4G UE, redes GSM/UMTS/ LTE EU, antena de varilla; omnidireccional; resistente a la intemperie para interiores y exteriores; 5m cable de conexión unido de forma fija a la antena; conector SMA; incl. escuadra de fijación, tornillos, taco



Aptitud de uso	para interiores y exteriores
Radiofrecuencias	
Tipo de la red de radiotelefonía / soportado	GSM, UMTS, LTE
Frecuencia de empleo	800 MHz, 850 MHz, 900 MHz, 1800 MHz, 1900 MHz, 2600 MHz
Datos eléctricos	
Impedancia	50 Ω
Polarización	lineal vertical
Característica de radiación	omnidireccional
Ganancia	0 dB
Relación de ondas estacionarias (VSWR) / máx.	1,9
Tipo de conexión enchufable	male
Datos mecánicos	
Material	
<ul style="list-style-type: none"> de la envoltura exterior 	PVC rígido, resistente a la radiación UV
Condiciones ambientales admisibles	
Temperatura ambiente	
<ul style="list-style-type: none"> durante el funcionamiento 	-40 ... +70 °C

Grado de protección IP	IP65
Diseño, dimensiones y pesos	
Anchura	25 mm
Altura	193 mm
Profundidad	25 mm
Diámetro	25 mm
Peso neto	310 g
Tipo de fijación	Escuadra de fijación y piezas de montaje
Longitud del cable / del cable de antena	5 m
Normas, especificaciones y homologaciones	
Certificado de aptitud	Si
<ul style="list-style-type: none"> • Conformidad con las Directivas sobre restricción de sustancias peligrosas (RoHS) 	
Accesorios	
Más información / Enlaces a Internet	
Enlace de Internet <ul style="list-style-type: none"> • a la página web: Guía de selección SIMATIC NET SELECTION TOOL • a la página web: Comunicación industrial • a la página web: Industry Mall • a la página web: Centro de información y descarga • a la página web: Archivo gráfico • a la página web: CAx-Download-Manager • a la página web: Industry Online Support 	http://www.siemens.com/snst http://www.siemens.com/simatic-net https://mall.industry.siemens.com http://www.siemens.com/industry/infocenter http://automation.siemens.com/blddb http://www.siemens.com/cax https://support.industry.siemens.com
Última modificación:	02/10/2018 