

**IMPLEMENTACIÓN DE SISTEMA SCADA PARA EL CONTROL Y
SUPERVISIÓN DE UN PROTOTIPO DE LABORATORIO
DESARROLLADO EN LA CORPORACIÓN PARA LA INVESTIGACIÓN DE
LA CORROSIÓN.**

JOSÉ MAURICIO SANDOVAL RODRÍGUEZ



**UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA
FACULTAD DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA
ESCUELA DE INGENIERÍA
SECCIONAL BUCARAMANGA
2011**

**IMPLEMENTACIÓN DE SISTEMA SCADA PARA EL CONTROL Y
SUPERVISIÓN DE UN PROTOTIPO DE LABORATORIO
DESARROLLADO EN LA CORPORACIÓN PARA LA INVESTIGACIÓN DE
LA CORROSIÓN.**

JOSÉ MAURICIO SANDOVAL RODRÍGUEZ

Tesis de grado para optar el título de Ingeniero Electrónico

**MSc. JUAN CARLOS VILLAMIZAR RINCÓN
DIRECTOR DEL PROYECTO
ING. MARIO ALBERTO QUINTERO
DIRECTOR EMPRESARIAL**



**UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA
FACULTAD DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA
ESCUELA DE INGENIERÍA
SECCIONAL BUCARAMANGA
2011**

Nota de Aceptación

Firma del Presidente del Jurado

Firma del Jurado

Firma del Jurado

Bucaramanga, Septiembre de 2011

AGRADECIMIENTOS

Al Ingeniero Juan Carlos Villamizar Rincón por la orientación, apoyo, cordialidad, y disposición con la que me apoyo durante todo el proceso.

Al ingeniero Mario A. Quintero por brindarme la oportunidad de trabajar en la Corporación para la investigación de la corrosión.

A los ingenieros William L. Rodríguez y Sergio Quintero quienes con sus amplios conocimientos fueron un apoyo muy importante en la Corporación para la investigación de la corrosión.

DEDICATORIA

A Dios nuestro señor por la oportunidad que nos brinda de aprender, mejorar y de crecer junto a personas tan especiales para mí.

A mis padres por un brindar un hogar cálido y enseñarme que la perseverancia y el esfuerzo son el camino para lograr los objetivos.

A mis hermanas Maribell, Carolina, Andrea por estar siempre ahí, en las alegrías y en las penas, y por depositar su absoluta confianza en mí

Al ingeniero Juan Carlos Villamizar, a quien considero un gran amigo buscando cada día orientarnos y recordándonos la importancia de trabajar.

A la familia Calderón José M, Rosaura, Denise, Natalia, Ivonne quienes forman mi familia, por su apoyo, colaboración y estar siempre dispuestos a brindar una ayuda.

A Ivonne Andrea con su dulzura, ternura, y apoyo nunca dejo de estar a mi lado dándome animo de alcanzar esta meta.

A Natalia mi amiga con su temperamento y dedicación me guio para poder culminar mi carrera.

A Luis que me brindo la orientación y ayuda en la construcción de la máquina.

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	17
1. OBJETIVOS	18
1.1.OBJETIVO GENERAL	18
1.2.OBJETIVO ESPECÍFICOS	18
2. EL PROBLEMA DE LA CORROSIÓN	19
2.1.CARACTERÍSTICAS DE LA CORROSIÓN	19
2.1.1. <i>Corrosión en la vida diaria</i>	19
2.1.2. <i>Porque existe la corrosión</i>	21
2.1.3. <i>Aspectos generales de la corrosión</i>	22
2.1.4. <i>Formas de la corrosión</i>	23
2.2.LA CORROSIÓN EN LA INDUSTRIA PETROLERA	24
2.3.CONTROL DE LA CORROSIÓN	25
2.3.1. <i>Inhibidores de la corrosión</i>	25
2.3.2. <i>Elegir un inhibidor de corrosión</i>	25
2.4 DISEÑO PROPUESTO POR LA CORPORACIÓN PARA LA INVESTIGACIÓN DE LA CORROSIÓN.	26
3. NORMATIVA RELACIONADA AL PROYECTO	31
3.1 NTC 2050.	31
3.1.1. <i>Requisitos de las instalaciones eléctricas.</i>	31
3.2 RETIE.	34
3.2.1. <i>Requisitos generales de las instalaciones eléctricas.</i>	37
3.3 NORMA ISO 9241.	37
3.3.1. <i>Aspectos relativos a la colocación de las pantallas de visualización de datos</i>	37
4. SENSORES DE NIVEL	39
4.1. TRANSMISORES DE NIVEL EN LÍQUIDOS	39
4.1.1. <i>Transmisores de nivel de flotadores</i>	39
4.1.2. <i>Transmisores de nivel tipo diferencial</i>	40
4.1.3. <i>Transmisores de nivel de burbujeo</i>	40
4.1.4. <i>Transmisores de nivel radioactivo</i>	41
4.1.5. <i>Transmisores de nivel capacitivo</i>	41
4.1.6. <i>Transmisores de nivel ultrasónico</i>	42
4.1.7. <i>Transmisores de nivel de conductividad</i>	42
4.1.8. <i>Sistemas de Radar</i>	43
4.2. SELECCIÓN DE SENSOR	44
4.2.1. <i>Características del sensor seleccionado</i>	46
4.2.2. <i>Sensor de nivel ultrasónico</i>	46

5. SENSORES DE FLUJO	48
5.1. MEDIDORES DE FLUJO EN LÍQUIDOS	48
5.1.1. <i>Medidor de flujo de presión diferencial</i>	49
5.1.2. <i>Medidor de flujo de de Area variable</i>	49
5.1.3. <i>Medidor de flujo de velocidad</i>	50
5.1.4. <i>Medidor de flujo de Tensión Inducida</i>	50
5.1.5. <i>Medidor de flujo de Desplazamiento Positivo</i>	51
5.1.6. <i>Medidor de flujo de Torbellino</i>	51
5.1.7. <i>Medidor de flujo Térmico</i>	52
5.1.8. <i>Medidor de flujo de Momento</i>	53
5.1.9. <i>Medidor de flujo de Coriolis</i>	53
5.1.10. <i>Medidor de flujo de Presión</i>	53
5.2. SELECCIÓN DEL SENSOR DE FLUJO	53
5.2.1. <i>Características del sensor flujo seleccionado</i>	56
5.2.2. <i>Sensor de flujo de tipo turbina</i>	57
6. BOMBAS DOSIFICADORAS DE LIQUIDO	58
6.1. CLASIFICACIÓN DE LA BOMBA	58
6.1.1. <i>Bombas volumétricas o de desplazamiento positivo</i>	59
6.1.2. <i>Bombas dinámicas o de energía cinética</i>	60
6.2. REQUERIMIENTOS DE LA BOMBA A IMPLEMENTAR	61
6.3. BOMBA IMPLEMENTADA EN EL PROTOTIPO	62
6.3.1. <i>Conexiones al PLC</i>	64
7. SISTEMA DE AUTOMATIZACIÓN	66
7.1. CARACTERÍSTICAS GENERALES	66
7.2. CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMABLE SIMATIC S7-200 CPU 224 XP	68
7.2.1. <i>Unidades de entrada y salidas</i>	69
7.3. SALIDA DEL PWM (MODULACIÓN DE ANCHO DE IMPULSO)	69
7.4. MÓDULO PID (SISTEMA DE CONTROL)	70
7.4.1. <i>Creación del programa de control</i>	71
8. SISTEMA SCADA WONDERWARE	72
8.1. WONDERWARE	72
8.2. COMUNICACIÓN	73
8.2.1 <i>OPC link</i>	73
8.2.2 <i>Protocolo de comunicación</i>	73
8.3 ARQUITECTURA DEL PROYECTO	74
8.4 INTERFAZ GRAFICA	76
9. CONSTRUCCIÓN DE LA PLANTA DE DOSIFICACIÓN DE LÍQUIDOS	81
9.1. INSTRUMENTACIÓN DEL PROCESO	81
9.2. CONSTRUCCIÓN DEL GABINETE DE CONTROL	82

10. PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO	86
RECOMENDACIONES	89
CONCLUSIONES	90
BIBLIOGRAFÍA	91
ANEXOS	96

LISTA DE TABLAS.

	Pág.
Tabla 1. Fallas en la industria petrolera.	24
Tabla 2. Corrosión en la industria petrolera.	24
Tabla 3. Estudio sensores de nivel.	45
Tabla 4. Medidores volumétricos	48
Tabla 5. Medidores de flujo de masa.	52
Tabla 6. Estudio de los sensores de flujo.	55
Tabla 7. Datos técnicos de la CPU 224 XP	67
Tabla 8. Inventario de señales del proceso.	82

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
ANEXO A. Sensor de nivel	96
ANEXO B. Sensor de flujo	97
ANEXO C. MOSFET IRF44Z	98
ANEXO D. Bomba tipo turbina	99
ANEXO E. Software de programación STEP 7 Microwin	100
ANEXO F. Manual de SIEMENS S7-200	101
ANEXO G. Configuración OPCLink	102
ANEXO H. CONFIGURACION WONDERWARE	103
ANEXO I. P&ID DEL PROTOTIPO	104
ANEXO J. CONFIGURACION OPC SERVER	105
ANEXO K. CONFIGURACION INTOUCH	106
ANEXO L. PLANO ELECTRICO DEL PROTOTIPO	107

GLOSARIO

OPC. (*OLE for Process Control*) es un estándar de comunicación en el campo del control y supervisión de procesos industriales, basado en una tecnología Microsoft, que ofrece un interface común para comunicación que permite que componentes software individuales interaccionen y compartan datos.

DDE. (*Dynamic Data Exchange*) es una tecnología de comunicación entre varias aplicaciones bajo Microsoft Windows y en OS/2.

SCADA. Es un sistema basado en computadores que permite supervisar y controlar variables de proceso a distancia, proporcionando comunicación con los dispositivos de campo (controladores autónomos) y controlando el proceso de forma automática por medio de un software especializado.

HMI. Interfaz de usuario por sus siglas en idioma inglés, (Human Machine Interface) que se usa para referirse a la interacción entre humanos y máquinas; Aplicable a sistemas de Automatización de procesos.

PLC. (*Programmer Logic Controller*) es un equipo digital, utilizado para la automatización procesos, tales como el control de la maquinaria de la fábrica, en líneas de ensamble, huegos mecánicos, o artefactos de iluminación.

PWM. (*Pulse with Modulation*) es una técnica en la que se modifica el ciclo de trabajo de una señal periódica (una senoidal o una cuadrada, por ejemplo), ya sea para transmitir información a través de un canal de comunicaciones o para controlar la cantidad de energía que se envía a una carga.

PID. (*Proporcional Integral Derivativo*) es un mecanismo de control por realimentación que calcula la desviación o error entre un valor medido y el valor que se quiere obtener, para aplicar una acción correctora que ajuste el proceso.

LISTA DE FIGURAS.

	Pág.
Figura 1. Técnicas de control de la corrosión	19
Figura 2. Efectos de la corrosión en la industria petrolera	20
Figura 3. Las diferentes formas de corrosión.	22
Figura 4. Diseño propuesta por la corporación para la investigación de la corrosión.	25
Figura 5. Diseño implementado en el laboratorio de la Universidad Pontificia Bolivariana.	27
Figura 6. Diferentes tipos de sensores de nivel	29
Figura 7. Transmisor de nivel de flotador	30
Figura 8. Transmisor de nivel tipo diferencial.	30
Figura 9. Transmisor de nivel de burbujeo	31
Figura 10. Transmisor de nivel radiactivo	31
Figura 11. Transmisor de nivel capacitivo.	32
Figura 12. Transmisor de nivel ultrasónico	32
Figura 13. Transmisor de nivel de conductividad	33
Figura 14. Sistemas de radar	33
Figura 15. Modo de operación sensor ultrasónico	37
Figura 16. Sensor ultrasónico Cilíndrico	37
Figura 17. Partes internas del sensor de flujo tipo turbina	44
Figura 18. Sensor de nivel MCMillan 102 Flo-Sen	45
Figura 19. Clases de bombas	46
Figura 20. Bomba rotativa	48
Figura 21. Bomba centrífuga	48

Figura 22. Bomba axial	49
Figura 23: Conexión el motor al SIMATIC 27-200.	50
Figura 24. Bomba tipo turbina Bosch.	51
Figura 25. Prefiltro de la bomba tipo turbina.	51
Figura 26. Acondicionamiento de señal del motor	52
Figura 27. SIMATIC S7-200 CPU 224XP.	56
Figura 28. Diagrama de cableado CPU 220 xp	57
Figura 29. Ejemplo PWM	58
Figura 30. Sistema de control de velocidad	58
Figura 31. Arquitectura de la planta de dosificación de líquido	63
Figura 32. Pantalla principal Intouch	64
Figura 33. Pantalla del proceso de inyección de líquido	65
Figura 34. Gráficos de tendencias en tiempo real	66
Figura 35. Pantalla grafico de tendencias de históricos y alarmas	67
Figura 36. Alarma nivel del tanque	67
Figura 37. Gabinete principal de control	69
Figura 38. Fuente SITOP	70
Figura 39. Borna para perfil DIN	70
Figura 40. Breaker bipolar	71
Figura 41. Simatic s7 200 CPU 224 XP	71
Figura 42. Modulo Ethernet CP 243-1	72
Figura 43. Respuesta del nivel tanque en tiempo real	73
Figura 44. Respuesta del nivel del tanque en el proceso	74
Figura 45. Respuesta de alarma a nivel mínimo del tanque	74

Figura 46. Respuesta del flujo ante un aumento

75

RESUMEN GENERAL DEL TRABAJO DE GRADO

TITULO: IMPLEMENTACIÓN DE SISTEMA SCADA PARA EL CONTROL Y SUPERVISIÓN DE UN PROTOTIPO DE LABORATORIO DESARROLLADO EN LA CORPORACIÓN PARA LA INVESTIGACIÓN DE LA CORROSIÓN.

AUTOR(ES): JOSÉ MAURICIO SANDOVAL RODRÍGUEZ

FACULTAD(ES): INGENIERÍA ELECTRÓNICA

DIRECTOR(A): JUAN CARLOS VILLAMIZAR RINCÓN

Los sistemas de ejecución manual de la dosificación de líquidos inhibidores en las industrias del petróleo han conllevado a una serie de errores de medición, dificultad para realizar ajustes de variables, retardo en los tiempos de entrega, pérdida considerable de producto y en el peor de los casos a la pérdida de control del sistema que se encuentre manejando.

El éxito de este tratamiento químico para evitar la corrosión no sólo está asociado a la eficiencia del producto sino también, en asegurar la aplicación de la dosis recomendada. En este sentido, se han detectado fallas en la continuidad de la inyección por razones de confiabilidad del funcionamiento de las bombas (problemas eléctricos y de baterías, aireación de la bomba, etc.) dificultades en las visitas a los pozos para realizar el ajuste de la rata de inyección y la verificación del nivel o disponibilidad del producto en sitio.

Bajo este panorama, el impacto de esta problemática se precisa en términos del cumplimiento de la disponibilidad del inhibidor de corrosión en los puntos críticos de control afectando la efectividad del tratamiento y en consecuencia, reduciendo la protección de la infraestructura.

El diseño del prototipo propuesto le permitirá a la Corporación para la Investigación de la Corrosión y a la Universidad Pontificia Bolivariana, trabajar, implementar y conocer más a fondo todo lo relacionado con los sistema SCADA, como por ejemplo, el manejo de las variables a distancia, los posibles errores y dificultades que se presenten en el campo, problemas con los sensores en ambientes externos, entre otros. Y por consiguiente llevar a mejorar el desempeño de los procesos.

Palabras clave: Instrumentación, Sistema Scada, Intouch, Controlador Lógico Programable, HMI.

ABSTRACT OF THESIS PROJECT

TITLE: IMPLEMENTATION OF SCADA SYSTEM FOR SUPERVISION AND CONTROL OF A LABORATORY PROTOTYPE DEVELOPED IN THE CORPORACION PARA LA INVESTIGACION DE LA CORROSION.

AUTHOR(S): JOSÉ MAURICIO SANDOVAL RODRÍGUEZ

DEPARTAMENT: INGENIERÍA ELECTRÓNICA

DIRECTOR: JUAN CARLOS VILLAMIZAR RINCÓN

The systems of manual execution of liquid dosing in the oil industries had carried to a series of measurement mistakes, difficulty to realize variables adjustments, delay in delivery dates, considerable loss of product and in the worst case the loss of the system that they are handling.

The success of this chemistry treatment to avoid the rust is not only associated to the efficiency of the product but also in assuring the application of the recommended dose. In this way, problems have been detected in the continuity of the injection for reasons of reliability of the functioning of the bombs (electrical problems and of batteries, aeration of the bomb, etc.) difficulties in the visits to the wells to realize the adjustment of the injection rate and in checking the level or product availability in site.

Under this panorama, the impact of this problematic is needed in terms of the fulfillment of the availability of the inhibitor of corrosion in the critical points of control affecting the efficiency of the treatment and in consequence, reducing the protection of the infrastructure.

The design of the proposed prototype will allow the Corporation for the Investigation of the Corrosion and the Pontificia Bolivariana University, to work, to help and to know more thoroughly everything related to the SCADA system, for example, the management of the distantly variables, the possible mistakes and difficulties that could be present in the field, problems with the sensors in external environments, among others and consequently to lead to improving the performance of the processes.

Key words: Instrumentation, SCADA System Intouch, Logical Programmable Controller, HMI.

INTRODUCCIÓN

Uno de los mecanismos de mitigación más utilizados por la industria de los hidrocarburos para el control de la corrosión es la inyección de químicos, como los inhibidores de corrosión, que se absorben a la superficie metálica para actuar como una barrera protegiendo a la infraestructura de agentes corrosivos tales como el CO₂, el H₂S, entre otros.

Los procesos industriales se presentan en gran variedad, abarcan muchos tipos de productos y exigen el control de la fabricación de los mismos. Para esto se utilizan instrumentos de medición y control que permiten el mantenimiento y regulación de las magnitudes propias del proceso en cuestión.

El enfoque del presente proyecto está dado a la automatización industrial en un campo más concreto como lo son los Sistemas SCADA “Supervisory Control And Data Acquisition” es decir: adquisición de datos y control supervisorio. Este sistema es una parte integral de la mayoría de los ambientes industriales complejos o muy geográficamente dispersos, ya que pueden recoger la información de una gran cantidad de fuentes de una forma rápida, y la presentan a un operador en una forma amigable. Esta forma de control se usa principalmente en el sector de hidrocarburos porque las instalaciones se tiene en lugares remotos y por medio de las comunicaciones los datos se pueden conocer con retardos bajos, además el usuario no necesita estar presente cerca al proceso.

Para dar solución a esta problemática La Corporación para la Investigación de la Corrosión - C.I.C. y la Universidad Pontificia Bolivariana tiene como objetivo la producción de conocimiento, innovación y tecnología, a partir de la solución de problemas de corrosión industrial, ofreciendo al sector productivo servicios especializados, proyectos de investigación y programas tecnológicos, a través de los cuales un equipo interdisciplinario de profesionales ha implementado soluciones alternativas para el manejo efectivo e integral de la corrosión, involucrando diversas problemáticas, así como tecnologías de carácter correctivo, preventivo y predictivo.

1. OBJETIVOS

1.1. OBJETIVO GENERAL

Realizar un sistema SCADA para el monitoreo y control de la dosificación de líquidos en un prototipo de laboratorio desarrollado en la Corporación para la Investigación de la Corrosión.

1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Estudio y recopilación de la normatividad de seguridad industrial necesaria para el desarrollo del proyecto.

Selección de la instrumentación para el monitoreo de nivel y monitoreo/control de caudal para la dosificación de un líquido en el prototipo.

Elaboración del procedimiento para el desarrollo y configuración de una aplicación de sistema SCADA para el monitoreo remoto.

Construcción de un banco de pruebas para un sistema de dosificación de líquido.

2. EL PROBLEMA DE LA CORROSIÓN

2.1. CARACTERÍSTICAS DE LA CORROSIÓN

Proceso en el cual surge una interacción de un metal con el medio que lo rodea, produciendo el consiguiente deterioro en sus propiedades tanto físicas como químicas. La característica fundamental de este fenómeno, es que solo ocurre en presencia de un electrolito, ocasionando regiones plenamente identificadas, llamadas anódicas y catódicas: una reacción de oxidación es una reacción anódica, en la cual los electrones son liberados dirigiéndose a otras regiones catódicas. En la región anódica se producirá la disolución del metal (corrosión) y, consecuentemente en la región catódica la inmunidad del metal. [1]

2.1.1. Corrosión en la vida diaria

La palabra corrosión evoca en muchas personas la imagen tan conocida de la "herrumbre", propia de los metales ferrosos, como si sólo el hierro fuera susceptible de presentar este fenómeno. [2]

En realidad, la corrosión es la causa general de la alteración y destrucción de la mayor parte de los materiales naturales o fabricados por el hombre. Si bien esta fuerza destructiva ha existido siempre, no se le ha prestado atención hasta los tiempos modernos, como efecto de los avances de la civilización en general y de la técnica en particular. El desarrollo de los métodos de extracción y uso de los combustibles, muy especialmente del petróleo, así como la expansión de la industria química, han modificado la composición de la atmósfera de los centros industriales y de las aglomeraciones urbanas. [2]



Figura 1. Técnicas de control de la corrosión [1]

La producción de acero y la mejora de sus propiedades mecánicas han hecho posible su empleo en los dominios más variados. Desgraciadamente, el desarrollo en la utilización de los productos siderúrgicos va acompañado, paralelamente, de un aumento en el tributo que cada año se paga a la corrosión. Para tener una pequeña idea de lo que esto pueda suponer, sépase que aproximadamente un 25% de la producción anual de acero es destruido por la corrosión. [2]

La corrosión de los metales constituye por lo tanto, y con un alto grado de probabilidad, el despilfarro más grande en que incurre la civilización moderna. Las roturas en los tubos de escape y silenciadores de los automóviles, la sustitución de los calentadores de agua domésticos, explosiones por fugas de gas en los tanques de almacenamiento o tuberías de conducción, roturas en las conducciones de agua, incluso el derrumbe de un puente, son algunos de los problemas con los cuales se encuentra el hombre. Nada metálico parece ser inmune a este tipo de acontecimientos. [2]

A veces los daños causados por un problema de corrosión pueden ser muy amplios. Pensemos en la reparación de la falla de un oleoducto de crudo, resultante de problemas de corrosión interna o externa. Aparte del costo inherente a la sustitución del tramo de tubería dañado, hay que tener en cuenta el daño causado por el aceite derramado al terreno, muchas veces irreversible, así como el posible paro de la refinería y los consiguientes problemas de desabastecimiento que ello puede llegar a acarrear. Y sin embargo, un proceso esencialmente de corrosión se utiliza diariamente para producir energía eléctrica: la pila seca. [2]



Figura 2. Efectos de la corrosión en la industria petrolera [5]

2.1.2. ¿Por qué existe la corrosión?

Para la obtención de los metales en estado puro, se debe recurrir a su separación a partir de sus minerales, lo cual supone un gran aporte energético. Se piensa solamente en el enorme consumo de energía eléctrica que supone el funcionamiento de una acería para obtener un material tan indispensable para el desarrollo actual, como el acero. Bien, producido el acero, éste prácticamente inicia el periodo de retorno a su estado natural, los óxidos de hierro. [3]

La fuerza conductora que causa que un metal se oxide es consecuencia de su existencia natural en forma combinada (oxidada). Para alcanzar este estado metálico, a partir de su existencia en la naturaleza en forma de diferentes compuestos químicos (minerales), es necesario que el metal absorba y almacene una determinada cantidad de energía. Esta energía le permitirá el posterior regreso a su estado original a través de un proceso de oxidación (corrosión). La cantidad de energía requerida y almacenada varía de un metal a otro. Es relativamente alta para metales como el magnesio, el aluminio y el hierro y relativamente baja para el cobre y la plata. [3]

De las diversas operaciones que deben realizarse para extraer el metal del mineral, la primordial se puede resumir en una sola palabra: *reducción*. Inversamente, las transformaciones sufridas por el metal que retorna a su estado original, también pueden resumirse en: oxidación. [3]

La presencia simultánea de agua (electrolito) y oxígeno (oxidante) hacen prácticamente inevitable la corrosión en estas condiciones para la mayoría de los

metales más utilizados (hierro, aluminio, cinc, etc.). La reacción de oxidación en el sistema formado presenta una energía libre positiva. [3]

2.1.3. Aspectos Generales de la corrosión.

La vida útil del equipo en la industria petrolera se acorta, a menudo, como un resultado de la corrosión. En los últimos 10 años se ha tenido grandes adelantos en su detección y remedios aplicados para controlarla.

Para efectos prácticos, es casi imposible eliminar la corrosión y el secreto efectivo de la ingeniería en este campo radica más en su control, que en su eliminación siendo necesario tomar en cuenta el fenómeno corrosivo desde el diseño de las instalaciones y no después de ponerlas en operación.

Los paros de las plantas pueden ocurrir debido a la corrosión, provocando gastos directos e indirectos de aspecto económico y humano [7].

Dentro de los aspectos económicos se tienen:

- a) Reposición del equipo corroído.
- b) Coeficiente de seguridad y sobre diseño para soportar la corrosión.
- c) Mantenimiento preventivo como la aplicación de recubrimientos.
- d) Paros de producción debida a fallas por corrosión.
- e) Contaminación de productos.
- f) Pérdida de eficiencia, ya que los coeficientes de seguridad, sobre diseño de equipo y productos de corrosión, por ejemplo, decrecen la velocidad de transmisión de calor en cambiadores de calor.
- g) Pérdida de productos valiosos.
- h) Daño de equipo adyacente a aquel en el cual se tuvo la falla de corrosión [7].

Dentro de los aspectos humanos y sociales se tienen:

- a) La seguridad, ya que fallas violentas pueden producir incendios, explosiones y liberación de productos tóxicos.
- b) Condiciones insalubres por ejemplo, contaminaciones debido a productos del equipo corroído o bien un producto de la corrosión misma.
- c) Agotamiento de los recursos naturales, tanto en metales como en combustibles usados para su manufacturera.
- d) Apariencia, ya que los materiales corroídos generalmente son desagradables a la vista. [7]

2.1.4. Formas de la Corrosión.

La corrosión ocurre en variadas formas, pero su clasificación generalmente se basa en uno de los tres siguientes factores:

1. Naturaleza de la sustancia corrosiva. La corrosión puede ser clasificada como húmeda o seca, para la primera se requiere un líquido o humedad mientras que para la segunda, las reacciones se desarrollan con gases a alta temperatura.
2. Mecanismo de corrosión. Este comprende las reacciones electroquímicas o bien, las reacciones químicas.
3. Apariencia del metal corroído. La corrosión puede ser uniforme y entonces el metal se corroe a la misma velocidad en toda su superficie, o bien, puede ser localizada, en cuyo caso solamente resultan afectadas áreas pequeñas. [7]

La clasificación por apariencia, uniforme o localizada, es muy útil para una discusión preliminar, que en caso de requerirse en forma más completa, necesita del establecimiento de las diferencias entre la corrosión localizada de tipo macroscópico y el ataque microscópico local. [7]

Los diferentes tipos de corrosión se presentan en la **figura 3**.

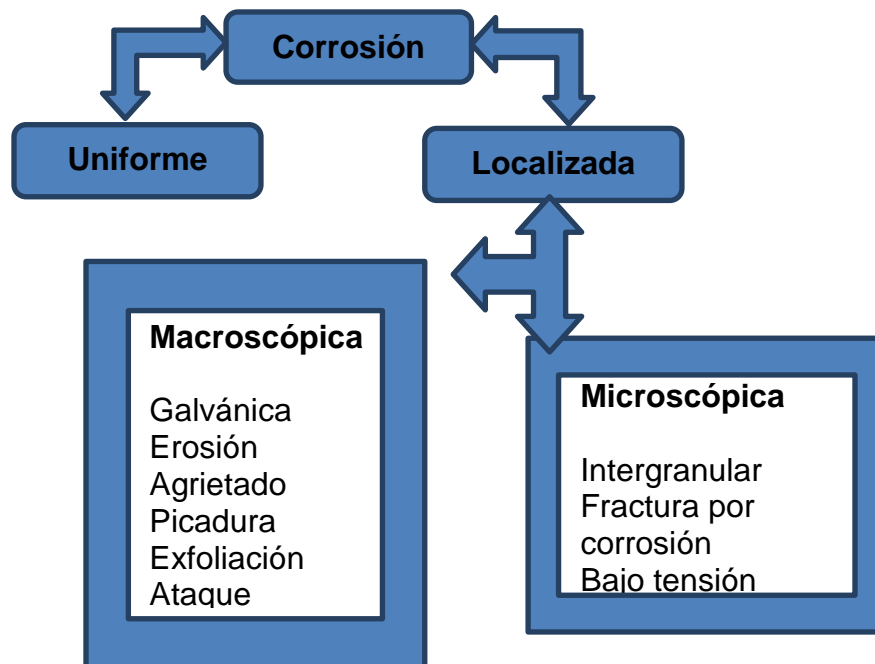


Figura 3. Las diferentes formas de corrosión. [7]

2.2. LA CORROSIÓN EN LA INDUSTRIA PETROLERA.

Los efectos de la corrosión sobre instalaciones y equipos industriales produce anualmente pérdidas importantes: en los países industrializados se ha valorado en el 3% del PBI. Este porcentaje puede tomarse sobre la valoración equivalente de la industria petrolera y del gas para llegar a una cuantificación aproximada de sus efectos económicos.

De todas las fallas que ocurren en las operaciones de la industria del gas y del petróleo la más importante es la corrosión con el 33% de los casos como puede verse en las tablas siguientes de un trabajo de Kermany y Harrop de BP0. [6]

Tabla 1. Fallas en la industria petrolera [6]

Tipos de fallas	%
Corrosión	33
Fatiga	18
Daño mecánico	14
Fractura frágil	9
Defecto de fabricación	9
Defectos de soldadura	7
Otros	10

A su vez, el tipo de corrosión que ocurre se distribuye aproximadamente de la siguiente forma:

Tabla 2. Corrosión en la industria petrolera [6]

Tipos de fallas	%
Por CO ₂	28
Por H ₂ S	18
En soldadura	18
Pitting	12
Corrosión erosión	9
Galvánica	6
Crevice	3
Impacto	3
Stress Corrosión	3

El CO₂ y el H₂S son las especies corrosivas más importantes y contra las cuales, es necesario, actuar utilizando revestimientos que deben resistir a esas especies, la temperatura, presión y también guardar resistencia a la abrasión y al impacto que en una medida u otra están involucrados en la utilización de tuberías y equipos. El CO₂ y el H₂S son especies químicas que están en equilibrio con las

tres fases petróleo, agua y gas por lo que las cantidades de CO₂ y H₂S en cada fase están relacionadas pero en concentraciones diferentes dadas por las solubilidades correspondientes a cada fase.

2.3. CONTROL DE LA CORROSIÓN.

A la fecha se cuenta con varios métodos que han resultado ser los más prácticos para controlar la corrosión del acero, cuya selección para cada caso depende de las condiciones del medio y de factores técnico-económicos. [4]

2.3.1. Inhibidores de la corrosión.

Un inhibidor de corrosión es un material que fija o cubre la superficie metálica, proporcionando una película protectora que detiene la reacción corrosiva. Frecuentemente se utilizan recubrimientos temporales para prevenir la corrosión durante el almacenamiento y el embarque y entre operaciones de maquinado. Los recubrimientos inhibidores de corrosión más efectivos, en un tiempo, fueron los materiales de base aceite o solvente. En años recientes los productos que usan como base el agua han sido desarrollados y están siendo utilizados con gran éxito. [9]

Estos compuestos se caracterizan por las altas cargas eléctricas en los extremos de sus moléculas capaces de ser atraídas por la superficie a proteger; desafortunadamente esta atracción no es permanente siendo necesaria una dosificación constante en el medio. Este método se utiliza preferentemente en donde existen fluidos en circulación. [4]

2.3.2. Elegir un inhibidor de corrosión.

Cuando se escoge un inhibidor se deben considerar las diferentes variables que puedan afectar a la pieza en un proceso normal.

- Los materiales que se van a proteger.
- El tiempo efectivo de protección (1 semana, 1 mes, 1 año, etc.)

- El método de aplicación (inmersión, aspersion, cepillado, etc.)
- Tipo de protección requerida (en proceso, almacenamiento o embarque).
- Manejo de la pieza y eliminación de la huella digital.
- Tipo y espesor del recubrimiento deseado.
- Condiciones de almacenaje, empaque y/o embarque (condiciones de temperatura, humedad y condiciones ambientales).
- Métodos de remoción (si son requeridos).
- Interacción con procesos subsecuentes, si no es removido.
- Requerimientos ambientales, de salud y de seguridad.
- Tipo de producto deseado (Base Aceite/Solvente o Base Agua). [9]

2.4. DISEÑO PROPUESTO POR LA CORPORACIÓN PARA LA INVESTIGACIÓN DE LA CORROSIÓN.

La corporación para la investigación de la corrosión es un centro de saberes tecnológicos creado en el marco de la ley colombiana de ciencia y tecnología, sin ánimo de lucro y su objetivo principal es la producción de conocimiento, innovación y tecnología, a partir de la solución de problemas de corrosión industrial.

Dentro de sus proyectos se encuentra el estudio de los sistemas SCADA aplicado en la industria y actualmente se cuenta con una buena instrumentación en el proceso de la dosificación de líquidos anticorrosivos en oleoductos, pero no está totalmente automatizado.

Por esto se ve la necesidad de implementar dicho proceso de manera real y didáctica para analizar los posibles problemas que pueda presentar los dispositivos que interactúan en el proceso.

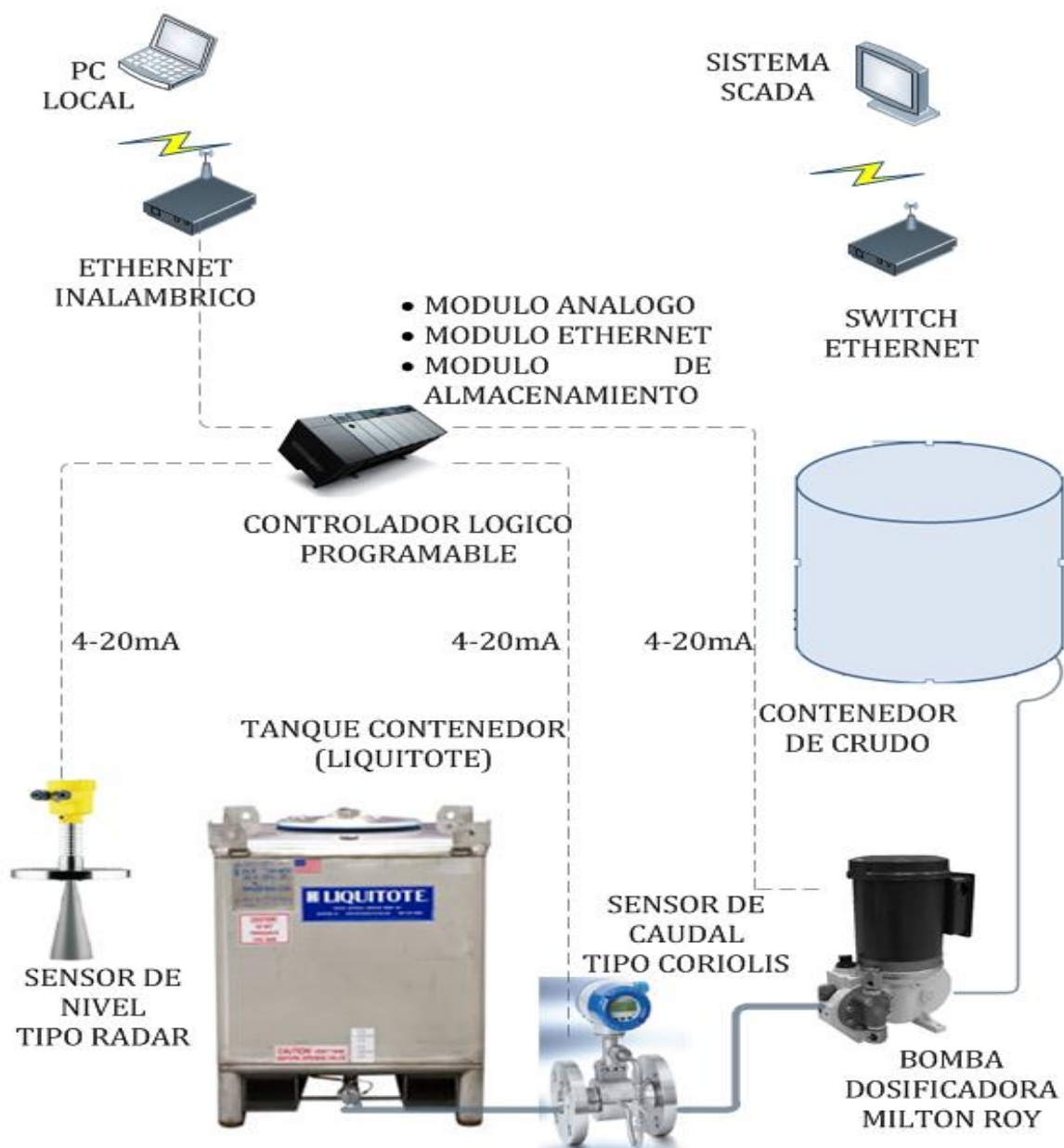


Figura 4. Diseño propuesta por la corporación para la investigación de la corrosión [14]

El diseño del prototipo de la planta de dosificación de líquido cuenta con:

- Un tanque de almacenamiento de líquido inhibidor marca LIQUITOTE, fabricado en acero inoxidable, con dimensiones 48" * 42" * 50". Donde se va a almacenar el anticorrosivo.
- Un sensor de caudal tipo coriolis, se implementa porque ofrece una alta fiabilidad en sus mediciones y hacen parte de un gran porcentaje en la implementación en la industria petrolera.
- Un sensor de nivel de tipo radar de onda guiada, debido a que en el interior del tanque se pueden presentar sólidos en suspensión y aparecer espuma por el tipo de líquido y este sensor puede medir el nivel del líquido en el tanque de almacenamiento sin ningún inconveniente.
- Una bomba dosificadora la cual será la encargada de llevar el líquido anticorrosivo al interior de la tubería.
- Un Controlador Lógico Programable el cual será nuestro sistema de proceso, quien interactúe entre los equipos instalados en campo y el sistema de adquisición de datos.
- La comunicación entre el sistema SCADA se plantea a través de Ethernet y de una red inalámbrica TCP/IP.

Este diseño no se implementa debido a que en la corporación para la investigación de la corrosión no fue aprobado el presupuesto para este proyecto, y no poseen los equipos necesarios para la culminación del mismo. Por esta razón se decide trabajar en los laboratorios de la Universidad Pontificia Bolivariana bajando los costos y trabajando con un líquido de fácil manipulación y acceso como lo es el agua.

A continuación se explica el diseño implementado en el laboratorio.

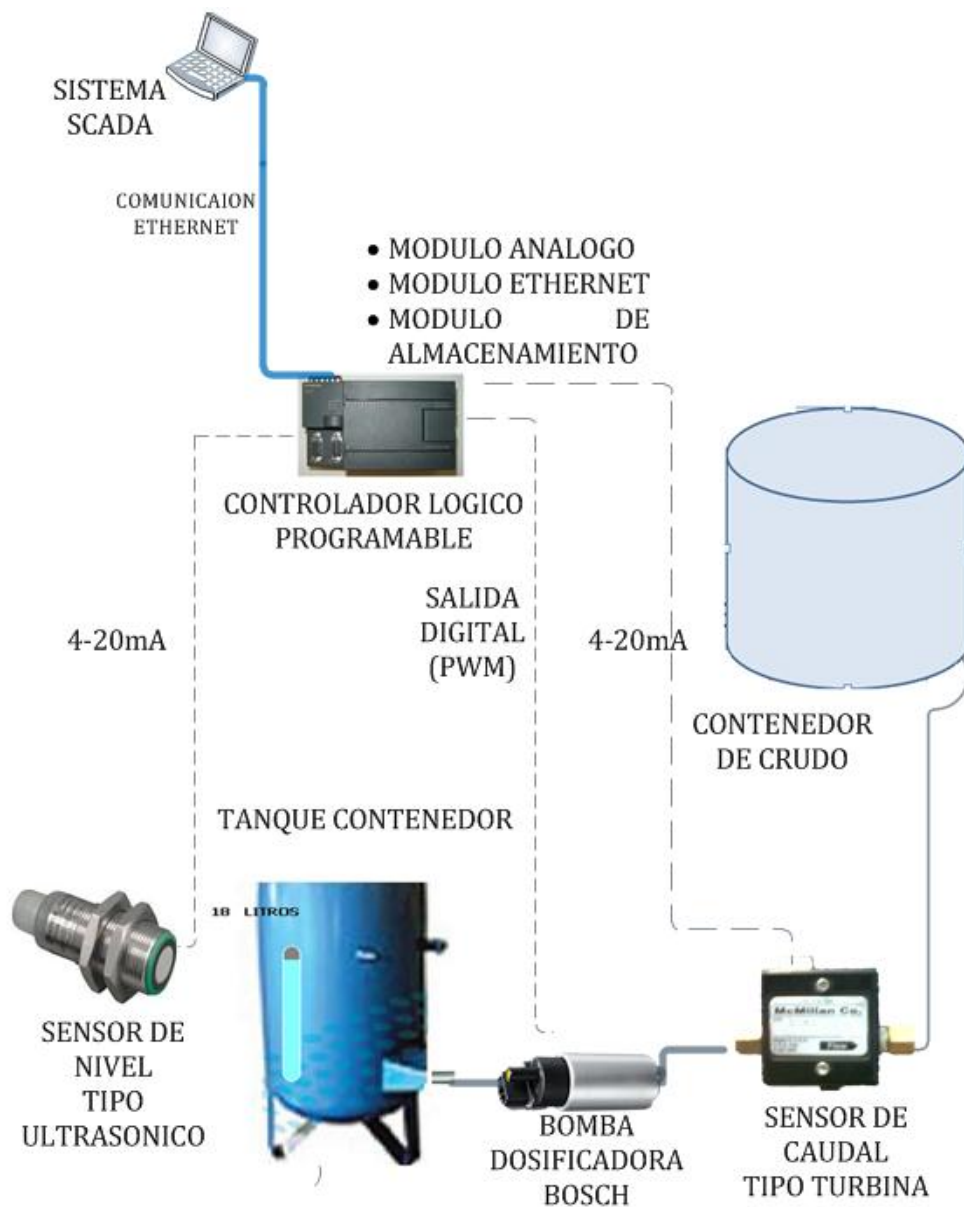


Figura 5. Diseño implementado en el laboratorio de la Universidad Pontificia Bolivariana [14]

Para la implementación de la planta de dosificación de líquido en el laboratorio de la universidad se utilizaron los siguientes componentes:

- Un tanque de plástico para una fácil instalación de los equipos
- Un sensor de nivel tipo ultrasónico, debido al líquido que se va a manipular este sensor muestra una excelente lectura de la variable y una buena fiabilidad.

- Una bomba sumergible para la dosificación de líquidos marca Bosch, la cual controla la dosificación de líquido.
- Un sensor de caudal tipo turbina ya que el caudal a dosificar es muy pequeño; esta es la mejor opción que se estudió basados en su precisión.
- Un Controlador Lógico Programable S7 200 CPU 224 XP que será el sistema de proceso que interactuará entre los elementos de control y el sistema de adquisición de datos.
- La comunicación entre el sistema SCADA y el sistema del proceso se realizó por medio de una red Ethernet.

3. NORMATIVIDAD RELACIONADA AL PROYECTO

3.1 NORMA NTC 2050

Este código cubre:

- 1) Las instalaciones de conductores y equipos eléctricos en o sobre edificios públicos y privados y otras estructuras, incluyendo casas móviles, vehículos de recreo y casas flotantes, y otras instalaciones como patios, parques de atracciones, estacionamientos, otras áreas similares y subestaciones industriales.
- 2) Instalaciones de conductores y equipos que se conectan con fuentes de suministro de electricidad
- 3) Instalaciones de otros conductores y equipos exteriores dentro de la propiedad.
- 4) Instalaciones de cables y canalizaciones de fibra óptica.
- 5) Instalaciones en edificaciones utilizadas por las empresas de energía eléctrica, como edificios de oficinas, almacenes, garajes, talleres y edificios recreativos que no formen parte integral de una planta generadora, una subestación o un centro de control.[37]

3.1.1. Requisitos de las instalaciones eléctricas

a. Examen, identificación, instalación y uso de los equipos.

- **Examen.** Al evaluar un equipo, hay que tener en cuenta las siguientes consideraciones:
 1. Si es adecuado para su instalación y uso según lo establecido en este código.
 2. Su resistencia mecánica y su durabilidad, incluida la calidad de la protección que proporcionan a otros equipos las partes diseñadas para encerrarlos y protegerlos.
 3. El espacio para los bucles de cables y las conexiones.
 4. El aislamiento eléctrico.

5. Los efectos del calentamiento en condiciones normales de uso y también en condiciones anormales que puedan presentarse durante el servicio.
 6. Los efectos de los arcos eléctricos.
 7. Su clasificación por tipo, tamaño, tensión, capacidad de corriente y uso específico.
 8. Otros factores que contribuyan a la salvaguardia de las personas que utilicen o que puedan entrar en contacto con el equipo. [37]
- **Instalación y uso.** Los equipos certificados o rotulados se deben instalar y usar según las instrucciones incluidas en el certificado o en el rótulo. [37]

b. Tensiones.

A lo largo de este código, las tensiones consideradas deben ser aquéllas a las que funcionan los circuitos. La tensión nominal de un equipo eléctrico no debe ser inferior a la tensión nominal del circuito al que está conectado. [37]

c. Conductores.

Los conductores normalmente utilizados para transportar corriente deben ser de cobre, a no ser que en este código se indique otra cosa. Si no se especifica el material del conductor, el material y los calibres que se den en este código se deben aplicar como si fueran conductores de cobre. Si se utilizan otros materiales, los calibres se deben cambiar conforme a su equivalencia. [37]

d. Calibre de los conductores.

Los calibres de los conductores se expresan en milímetros cuadrados (mm²), seguidos por su equivalente entre paréntesis en AWG (American Wire Gage) o en mils de circunferencia (kcmil). [37]

e. Montaje y ventilación de los equipos.

- **Montaje.** Los equipos eléctricos se deben fijar firmemente a la superficie sobre la que van montados. No se deben utilizar tacos de madera en agujeros en mampostería, hormigón, yeso o materiales similares. [37]
- **Ventilación.** El equipo eléctrico que dependa de la circulación natural del aire y de la convección para la ventilación de sus superficies expuestas, se debe instalar de modo que no se impida la circulación del aire sobre dichas superficies por medio de paredes o equipos instalados a sus costados. Para los equipos destinados para montaje en el suelo, se

deben dejar las distancias entre las superficies superiores y las adyacentes para que se disipe el aire caliente que circula hacia arriba. El equipo eléctrico dotado de aberturas de ventilación se debe instalar de modo que las paredes u otros obstáculos no impidan la libre circulación del aire a través del equipo. [37]

f. Conexiones eléctricas.

Debido a las distintas características de metales disímiles, los dispositivos como terminales a presión o conectores a presión y lengüetas soldadas se deben identificar en cuanto al material del conductor y deben estar bien instalados y utilizados. No se deben mezclar en un terminal o en un conector de empalme, conductores de metales distintos cuando se produzcan contactos físicos entre ellos (como por ejemplo, cobre y aluminio, cobre y aluminio revestido de cobre o aluminio y aluminio revestido de cobre), a no ser que el dispositivo esté identificado para ese fin y condiciones de uso. Si se utilizan materiales como compuestos para soldar, fundentes, inhibidores y restringentes, deben ser adecuados para el uso y deben ser de un tipo que no deteriore a los conductores, a la instalación o a los equipos. [37]

- **Terminales.** La conexión de los conductores a los terminales debe asegurar una buena y completa conexión sin dañar los conductores y debe hacerse por medio de conectores a presión (de los tipos tornillo o cuña de presión), lengüetas soldadas o empalmes a terminales flexibles. Se permite la conexión por medio de tornillos o pernos de sujeción de cables y tuercas que tengan lengüetas plegables o equivalentes, para conductores de sección transversal 5,25 mm² (No. 10 AWG) o menores. Los terminales para más de un conductor y los terminales utilizados para conectar aluminio, deben estar así identificados. [37]
- **Empalmes.** Los conductores se deben empalmar o unir con medios de empalme identificados para su uso o con soldadura de bronce, de arco o blanda, con un metal o aleación fusible. Antes de soldarse, los empalmes se deben unir de modo que queden mecánica y eléctricamente seguros y después si se deben soldar. Todos los empalmes y uniones y los extremos libres de los conductores se deben cubrir con un aislante equivalente al de los conductores o con un dispositivo aislante identificado para ese fin. Los conectores o medios de empalme de los cables en conductores que van directamente enterrados o en instalaciones subterráneas, deben estar certificados para cada uno de estos usos. [37]

3.2. RETIE

Para efectos del presente reglamento los requisitos contenidos en este capítulo, son de aplicación obligatoria en todos los niveles de tensión y en todos los

procesos y deben ser cumplidos según la situación particular en las instalaciones eléctricas objeto del presente reglamento. [12]

3.2.1. Requisitos generales de las instalaciones eléctricas.

Toda instalación eléctrica objeto del presente reglamento debe cumplir los siguientes requisitos:

- a. **Diseño de las instalaciones eléctricas.** Toda instalación eléctrica objeto del presente Reglamento que se construya a partir de la entrada en vigencia de este Anexo General deberá contar con un diseño, efectuado por el profesional o profesionales legalmente competentes para desarrollar esa actividad. El diseño debe cubrir los aspectos que le apliquen, según el tipo de instalación y complejidad de la misma: [38]
 - a. Análisis de carga
 - b. Cálculo de transformadores.
 - c. Análisis del nivel tensión requerido.
 - d. Distancias de seguridad.
 - e. Cálculos de regulación.
 - f. Cálculos de pérdidas de energía.
 - g. Análisis de cortocircuito y falla a tierra.
 - h. Cálculo y coordinación de protecciones.
 - i. Cálculo económico de conductores
 - j. Cálculos de ductos, (tuberías, canalizaciones, canaletas, blindobarras).
 - k. Cálculo del sistema de puestas a tierra.
 - l. Análisis de protección contra rayos.
 - m. Cálculo mecánico de estructuras.
 - n. Análisis de coordinación de aislamiento.
 - o. Análisis de riesgos eléctricos y medidas para mitigarlos.
 - p. Cálculo de campos electromagnéticos en áreas o espacios cercanos a elementos con altas tensiones o altas corrientes donde desarrollen actividades rutinarias las personas.
 - q. Cálculo de iluminación.
 - r. Especificaciones de construcción complementarias a los planos incluyendo las de tipo técnico de equipos y materiales.
 - s. Justificación técnica de desviación de la NTC 2050 cuando sea permitido, siempre y cuando no comprometa la seguridad de las personas o de la instalación.
 - t. Diagramas unifilares.
 - u. Planos eléctricos de construcción.
 - v. Los demás estudios que el tipo de instalación requiera para su correcta y segura operación.

Los diseños de las instalaciones para uso final de la electricidad deberán cumplir los literales (a, b, d, e, f, g, h, j, k, q, r, s, t, u), la profundidad con que se traten los ítems dependerá del tipo de instalación. [38]

- b. Responsabilidad de los diseñadores.** Tanto las memorias de cálculo como los planos y diagramas deben contemplar en forma legible el nombre y matrícula profesional de la persona o personas que actuaron en el diseño, quienes firmarán tales documentos y serán responsables de los efectos que se presenten de acuerdo con la competencia otorgada en su matrícula profesional. [38]

- c. Productos usados en las instalaciones eléctricas.** La selección de los materiales eléctricos y su instalación estará en función de la seguridad, su uso, empleo e influencia del entorno, por lo que se deberán tener en cuenta entre otros los siguientes criterios básicos: [38]
 - 1. Tensión: La nominal de la instalación.
 - 2. Corriente: Que trabaje con la corriente de operación normal.
 - 3. Frecuencia: Se debe tomar en cuenta la frecuencia de servicio cuando influya en las características de los materiales.
 - 4. Potencia: Que no supere la potencia de servicio.
 - 5. Corriente de cortocircuito: Los equipos deben soportar las corrientes de cortocircuito previstas
 - 6. Compatibilidad de materiales: No deben causar deterioro en otros materiales, en el medio ambiente ni en las instalaciones eléctricas adyacentes.
 - 7. Tensión de ensayo dieléctrico: Tensión asignada mayor o igual a las sobretensiones previstas.
 - 8. Otras características: Otros parámetros eléctricos o mecánicos que puedan influir en el comportamiento del producto, tales como el factor de potencia, tipo de corriente, conductividad eléctrica y térmica etc.)
 - 9. Características de los materiales en función de las influencias externas (medio ambiente, condiciones climáticas, corrosión, altitud, etc.)
 - 10. Temperaturas normales y extremas de operación.
 - 11. Exigencia de los certificados de conformidad para los productos que así lo contemplen. [38]

- d. Construcción de la instalación eléctrica.** La construcción de toda instalación eléctrica objeto del presente reglamento, debe ser dirigida o supervisada por una persona calificada, con matrícula profesional, certificado de inscripción profesional o certificado de matrícula vigente, que según la Ley le faculte para ese tipo de construcción y debe cumplir con el presente reglamento en lo que le aplique. [38]

El constructor debe verificar el diseño y si está acorde con el RETIE debe aplicarlo. Si por razones debidamente justificadas considera que no es apropiado, debe documentar técnicamente las causas de la desviación.

La persona calificada responsable de la construcción, debe emitir la **declaración de conformidad con el presente reglamento**, en los términos y formatos aquí establecidos y será responsable de los efectos que se deriven de la construcción de la instalación. [38]

- e. **Operación y mantenimiento de las instalaciones eléctricas.** Las personas encargadas de la operación y el mantenimiento de la instalación eléctrica o en su defecto el propietario o tenedor de la misma, serán responsables de mantenerla en condiciones seguras, por lo tanto, deben garantizar que se cumplan las disposiciones que le apliquen del presente reglamento y verificar que la instalación no presente alto riesgo para la salud o la vida de las personas, animales o el medio ambiente, siempre con soporte de personas calificadas. [38]

- f. **Pérdidas técnicas de energía aceptadas en las instalaciones eléctricas.** Las instalaciones eléctricas deberán cumplir los requisitos de pérdidas técnicas determinadas por la CREG o la reglamentación técnica aplicable sobre uso eficiente de la energía eléctrica. [38]

- g. **Clasificación de los niveles de tensión en corriente alterna.** Para efectos del presente Reglamento Técnico, se fijan los siguientes niveles de tensión, establecidos en la norma NTC 1340, así:
 - **Extra alta tensión (EAT):** Corresponde a tensiones superiores a 230 kV.
 - **Alta tensión (AT):** Tensiones mayores o iguales a 57,5 kV y menores o iguales a 230 kV.
 - **Media tensión (MT):** Los de tensión nominal superior a 1000 V e inferior a 57,5 kV.
 - **Baja tensión (BT):** Los de tensión nominal mayor o igual a 25 V y menor o igual a 1000 V.
 - **Muy baja tensión (MBT):** Tensiones menores de 25 V. [38]

Toda instalación eléctrica, objeto del presente Reglamento, debe asociarse a uno de los anteriores niveles. Si en la instalación existen circuitos o elementos en los que se utilicen distintas tensiones, el conjunto del sistema se clasificará para efectos prácticos, en el grupo correspondiente al valor de la tensión nominal más elevada. [38]

h. Distancias mínimas para prevención de riesgos por arco eléctrico.

Dado que el arco eléctrico es un hecho frecuente en trabajos eléctricos, que genera radiación térmica hasta de 20000 °C, que presenta un aumento súbito de presión hasta de 30 t/m², con niveles de ruido por encima de 120 dB y que expide vapores metálicos tóxicos por desintegración de productos, se establecen los siguientes requisitos frente a este riesgo:

Cumplir las distancias mínimas de aproximación a equipos las cuales son adaptadas de la NFPA 70 E. Estas distancias son barreras que buscan prevenir lesiones al trabajador y en general a todo el personal y son básicos para la seguridad eléctrica. [38]

Para personas no calificadas, el límite de aproximación seguro. Para trabajos en tensión, cumplir el límite de aproximación técnica.

Instalar etiquetas donde se indique el nivel de riesgo que presenta un determinado equipo.

Utilizar los elementos de protección personal acordes con el nivel de riesgo y el nivel de entrenamiento para realizar un trabajo que implique contacto directo. [38]

3.3 NORMA ISO 9241

El objetivo es dar a conocer los principales aspectos de las normas técnicas de ámbito europeo e internacional referidas al diseño ergonómico de puestos que utilizan equipos con pantallas de visualización de datos.

Los principales factores que determinan la legibilidad y el uso confortable de las pantallas de visualización de datos se pueden clasificar del modo siguiente:

- Aspectos relativos a la colocación de las pantallas de visualización de datos
- Características de los símbolos alfanuméricos
- Características técnicas de la propia pantalla
- Requerimientos para pantallas en color
- Los reflejos en la superficie de las pantallas

3.3.1 Aspectos relativos a la colocación de las pantallas de visualización de datos

- Distancia de visión

Para las tareas habituales la distancia de visión, no debe ser inferior a 400 mm.

En ciertas aplicaciones especiales (como, por ejemplo, en pantallas táctiles) esa distancia de visión no debe ser inferior a 300 mm.

- Requerimientos para pantallas en color

Estos aspectos han de ser considerados en la adquisición de los monitores de visualización en color, pero al mismo tiempo concierne también a las posibilidades de control a través del software utilizado.

Las normas que se exponen a continuación se aplican únicamente a las características del color empleado en los textos y gráficos simples, que no presenten gradaciones continuas de tonalidad o apariencia fotográfica.

- Juego de colores "por defecto"

El sistema debe proporcionar un juego de colores "por defecto" (en ausencia de especificación del usuario) para las aplicaciones que requieran la identificación y discriminación del color.

En las actividades que requieran la discriminación e identificación de cada color específico no deben emplearse más de 11 colores distintos.

- Altura y tamaño de los caracteres y símbolos

Cuando se requiera identificar con precisión el color de los símbolos y caracteres alfanuméricos su altura debe subtender al menos 20 minutos de arco a la distancia de visión nominal.

Si esa necesidad de identificación se refiere a un símbolo o carácter aislado, su tamaño debe subtender al menos 30 minutos de arco (preferiblemente 45').

Para las imágenes que subtiendan un ángulo menor de 2 grados debe evitarse la utilización del azul saturado.

- Legibilidad en pantallas de color

La medida relevante para expresar la legibilidad es el contraste de luminancias, de igual forma que para las pantallas monocromáticas.

- Efectos del fondo y del entorno sobre la imagen

Para optimizar la discriminación e identificación de los colores, se recomienda adoptar uno de los dos sistemas de representación siguientes:

Figuras en color sobre fondo acromático.

Figuras acromáticas sobre fondo en color.

Los fondos acromáticos, como el negro o el gris medio u oscuro, maximizan la visibilidad de las representaciones en color.

4. SENSORES DE NIVEL

En el proceso de la planta de dosificación de líquido se trabaja con un tanque contenedor del líquido, y se pretende medir los niveles del fluido almacenado.

Existen diversos tipos de sensores dependiendo del tipo de fluido y de la posible manipulación.



Figura 6. Diferentes tipos de sensores de nivel [15].

4.1. TRANSMISORES DE NIVEL EN LÍQUIDOS

En la industria de los transmisores de nivel en líquidos existen diferentes tipos de sensores los cuales se explicaran brevemente dejando en claro el sensor a utilizar en el proyecto de la dosificación:

- Desplazamiento (Flotador)
- Presión diferencial
- Burbujeo
- Radioactivo
- Capacitivo
- Ultrasónico
- Conductividad
- Radar

4.1.1 Transmisor de nivel de flotador: Consiste en un flotador en contacto con el fluido y conectado al exterior del depósito indicando directamente el nivel sobre una escala graduada [12].

Existe de tipo mecánico producto del movimiento del flotador en contra de un peso y magnético el cambio ocurre por un imán permanente dentro de un flotador [12].



Figura 7. Transmisor de nivel de flotador [13]

4.1.2. Transmisor de nivel tipo diferencial: Se compone de medidores de presión a la entrada y salida del tanque.

Dado que la presión en la salida es proporcional a la altura del fluido en ese punto y a su peso específico. ($P = \rho * g * h$) [12]

La presión en la entrada es necesaria si el tanque está cerrado.[12]

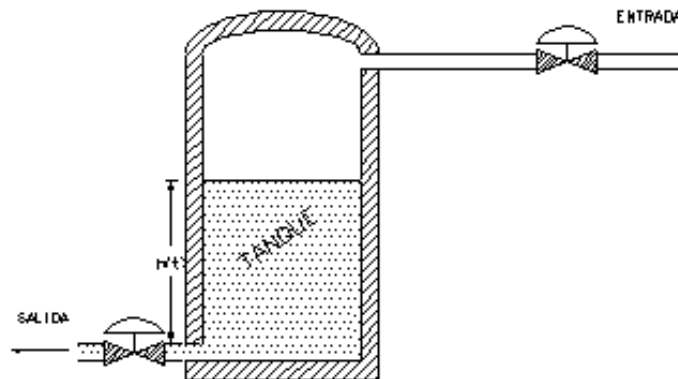


Figura 8. Transmisor de nivel tipo diferencial [12]

4.1.3. Transmisor de nivel de burbujeo: Se emplea un tubo sumergido en el líquido a cuyo través se hace burbujear aire o gas mediante un rotámetro con un regulador de caudal incorporado hasta producir una corriente continua de burbujas [12].

Sistema muy ventajoso en aplicaciones con líquidos corrosivos o con materiales en suspensión [12].

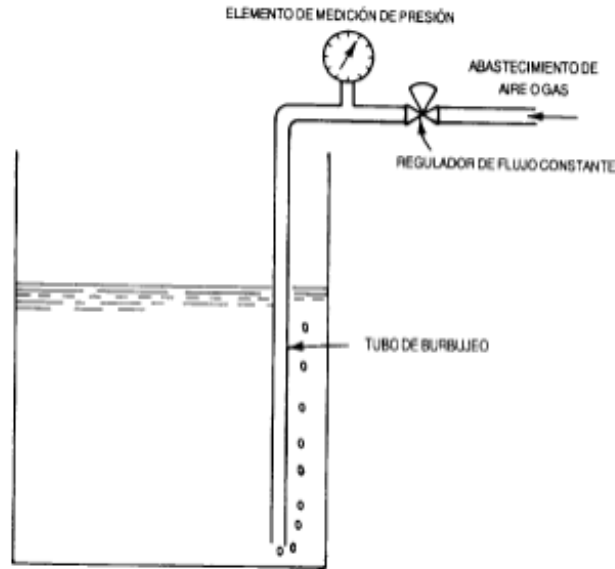


Figura 9. Transmisor de nivel de burbujeo [12]

4.1.4. Transmisor de nivel Radioactivo: Se compone por una fuente radioactiva en un lado y un medidor de radiación al otro lado [12].

El medidor transforma en la radiación recibida en una señal, la recepción de rayos es inversamente proporcional a la masa del líquido dado que este absorbe parte de la energía recibida.

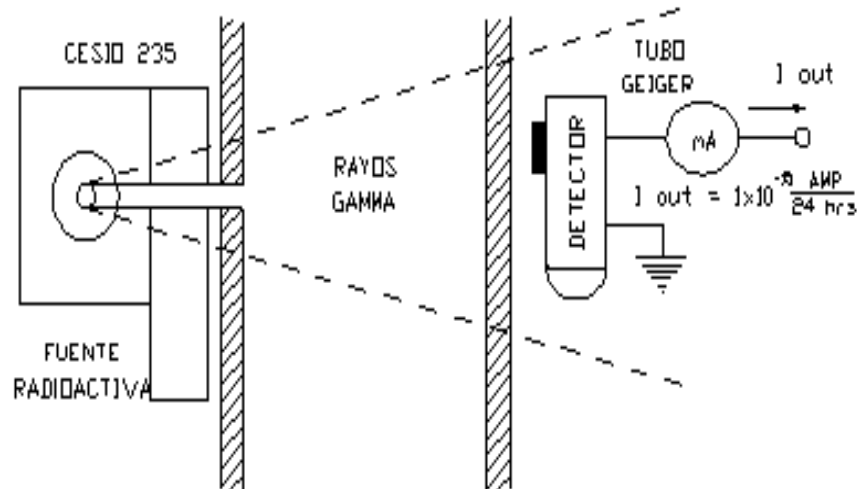


Figura 10. Transmisor de nivel radiactivo [10]

4.1.5. Transmisor de nivel Capacitivo: Se basa en medir la variación de capacitancia de un condensador cuando va variando el medio dieléctrico entre sus placas. Al variar el nivel del líquido varía proporcionalmente la capacidad [12].

En fluidos no conductores se emplea un electrodo normal y la capacidad total del sistema se compone de la del líquido, la del gas superior y de las conexiones superiores [12].

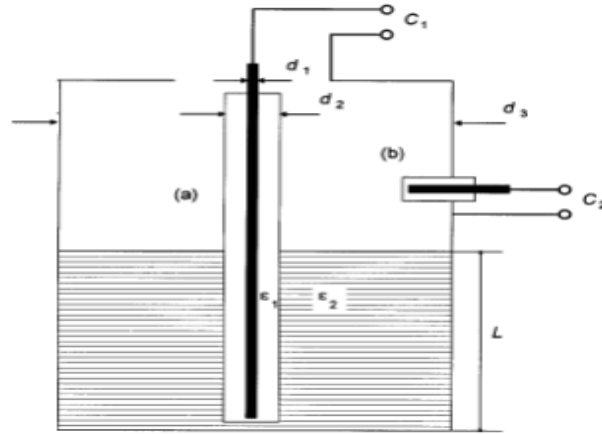


Figura 11. Transmisor de nivel capacitivo [12]

4.1.6. Transmisor de nivel Ultrasonico: Consiste en la emisión de un impulso ultrasónico a una superficie reflectante y la recepción del eco del mismo en un receptor.

El retardo en la captación del eco depende del nivel del dispositivo, hay que evitar que existan obstáculos como espumas en el recorrido de las ondas, aunque algunos medidores compensan los ecos fijos debidos al perfil del depósito [12].

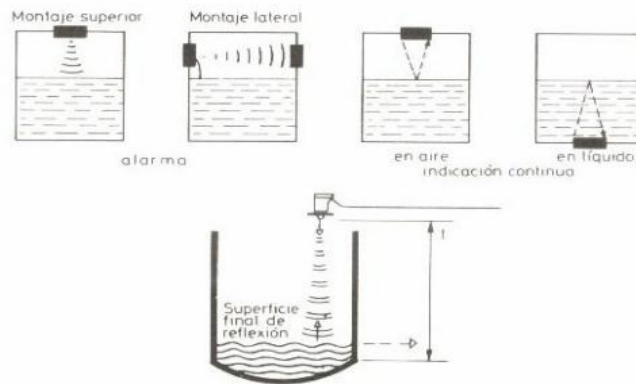


Figura 12. Transmisor de nivel ultrasónico [12]

4.1.7. Transmisor de nivel de conductividad: Consta de una sonda con uno, dos o más electrodos. Cuando estos entran en contacto con el líquido conductor se cierra un circuito eléctrico, que a través de la unidad amplificadora conmuta un contacto.

El líquido debe ser lo suficiente conductor como para excitar el circuito electrónico. La impedancia mínima es del orden de los $20\text{M}\Omega/\text{cm}$, y la fuente de alimentación es alterna para evitar fenómenos de oxidación en las sondas por causa del efecto de la electrólisis.

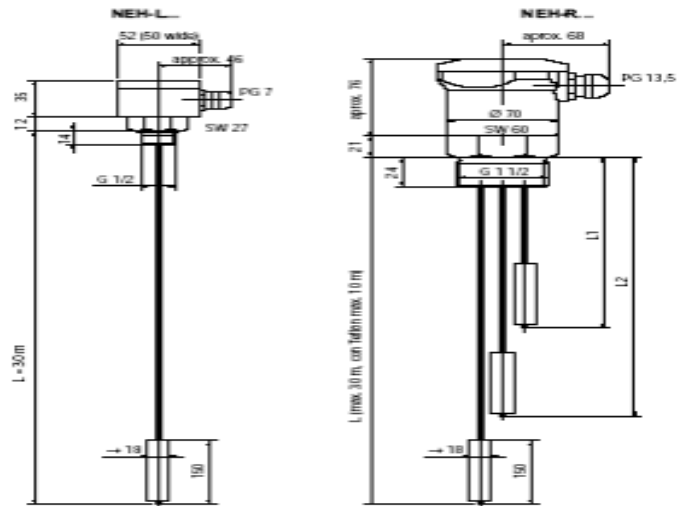


Figura 13. Transmisor de nivel de conductividad [11]

4.1.8. Sistemas de Radar: No necesitan ningún contacto con el líquido, ni incorporan ningún elemento móvil, por lo que su aplicación es ideal en productos muy viscosos, o en sistemas de movimiento [12].



Figura 14. Sistemas de radar [16]

4.2 SELECCIÓN DEL SENSOR

Para la selección del sensor de nivel se creó una tabla donde se definen las variables importantes a tener en cuenta para el desarrollo del proceso de la planta dosificadora de líquidos.

Se tiene en cuenta los siguientes factores:

- Principio de funcionamiento: se pretende un principio de funcionamiento de tipo radar.
- Tipo de comunicación: La comunicación es por medio de PROFIBUS o HART y 4-20mA.
- Alimentación: Tiene una alimentación de señal DC preferiblemente 24VDC, ya que es la señal de salida digital que maneja el PLC (Controlador Lógico programable).
- Rango de medición: Tiene un alcance mínimo de 1 metro ya que es la medida máxima de profundidad del tanque.
- Precisión : Debe oscilar entre $\pm 0.2\%$.
- Temperatura: La temperatura oscila entre 40°C y 70°C.

Tabla 3. Estudio sensores de nivel [14]

Empresa	Link	Principio de Funcionamiento	Especialidad	Comunicación	Alimentación	Rango de medición	Precisión	Temperatura
VEGAPULS 65	Instrumatic http://instrumatic.com.co/portal/images/PDFS/nivel/transmisores/radar.pdf	Radar	Líquidos agresivos, condiciones de proceso normales.	*Dos hilos 4-20mA con HART *Cuatro hilos 4-20mA con HART 1 *Profibus PD *Foundation Fieldbus	24 Vdc	Hasta 35m	± 1 cm	(-40 a 150 °C)
Rosemount 5301	Rosemount http://www2.emersonprocess.com/siteadmincenter/PM Rosemount Documents/00813-0100-4530.pdf	Radar de onda guiada (TDR)	Líquidos con vapores y espumas	*4-20 mA con HART *FOUNDATION fieldbus *MODBUS *WirelessHART with the THUM Adapter	20-42.4 V	Hasta 50m	± 0,3 cm	(-40 a 150 °C)
Rosemount 5400 Series	Rosemount http://www2.emersonprocess.com/siteadmincenter/PM Rosemount Documents/00803-0100-4161.pdf	Radar de no contacto	Tuberías y pozos de aquietamiento	*4-20 mA con HART *FOUNDATION fieldbus *MODBUS *WirelessHART with the THUM Adapter	18,5 V	Hasta 35m	± 0,3 cm	(-40 a 150 °C)
reflex VF series TDR	Finetech http://www.finetech.com/main/pinfo_in.aspx?mnuid=1284&modified=4&pcid=10&pscid=10&pid=66	Radar de onda guiada	Líquidos	*4 - 20 con HART	24 Vdc	Hasta 60m	± 0.2%	(-40 80 °C)
R SERIE	Madison company http://www.madisoncompany.com/madison/espanol/level/radar.htm	Radar	Distintos líquidos y sólidos	*4-20 mA Puerto de comunicaciones RS232 o RS485 opcional	CA: 115 o 230 Vca CC: 12 a 30 Vcc	de 0,254 a 30 m	±0,25%	-40 a 60°C
Micropilot M FMR240	Endress+ Hauser http://portal.endress.com/wa002/ProductContainerGUI/?root=FMR240&country=en&lang=en&sitestatwebsitename=uk%2Fs%3F&SChome=http%3A%2F%2Fwww.uk.endress.com%2Feh%2Fsc%2F%2F%2Fhome.nsf%2F	Radar	distintos líquidos y sólidos (La medición es sin contacto)	*4-20mA tecnología de dos hilos *HARD *PROFIBUS	NO REGISTRA	:20mts Rango extendido: 70mts	±3mm	
LR3300	ifm electronic	Radar de onda guiada	distintos líquidos	4-20mA	cc:15-30Vcc		± 0.5%	-2080
MT2000	KTEK http://www.ktekcorp.com/dnn20/Portals/2/data/sheets/MT2000-0202-1%20Rev%201%20(09-2004).pdf	Radar de onda guiada	agua- crudo	4 - 20 mA con hart	24 Vdc	Hasta 100m	±0.24%	

Nota: debido a la no implementación del prototipo no se seleccionó un sensor de la lista y se dejan los candidatos expuestos en la tabla 3 para una futura consulta.

4.2.1. Características del sensor seleccionado.

Después de realizar el estudio y selección de los posibles sensores por sus características, se debe tener en cuenta qué fluido se va a manipular y sus parámetros de trabajo.

El sensor con el cual se va a realizar el montaje es el transmisor de nivel ultrasónico, esta decisión se tomó basándose en las siguientes características:

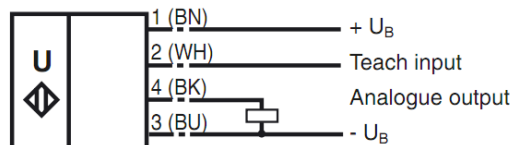
Son económicos, utilizados para medición y monitoreo de niveles de líquidos en estanques abiertos y cerrados. Son de pequeño tamaño lo cual lo hace muy compacto, combinando sensor y electrónica en un solo elemento. La precisión de estos instrumentos está en un intervalo pequeño de ± 1 a 3 %

4.2.2 Sensor de Nivel Ultrasónico

En el prototipo se instaló el sensor de nivel ultrasónico de marca Pepperl+Fuchs esta es una marca conocida en la universidad ya que anteriormente se han adquirido sensores de este proveedor. La referencia del sensor es UB800-18GM40- U-V1 (ver anexo A) a modo general posee las siguientes características:

- Caja compacta (solo 50 mm) para espacio limitado de aplicaciones
- Rangos de detección: 300mm (12") y 800mm (31")
- Detección de rectas o en ángulo recto.
- PNP Discreto Punto de conmutación o salidas analógicas disponibles.
- Salida analógica de 0 a 10 V.
- Alimentación a 24 Vdc.
- Conexión.

Standard symbol/Connections:
(version U)



Core colours in accordance with EN 60947-5-2.

Figura 15. Conexión del sensor ultrasónico. [14]

En las figuras 16 y 17 se muestran la forma de operar del sensor seleccionado y la apariencia real del sensor que se instaló en el prototipo.

L	voltios
9	8,6
8	7,48
7	6,53
6	5,48
5	4,32
4	3,45
3	2,32
2	1,9
1	1,2

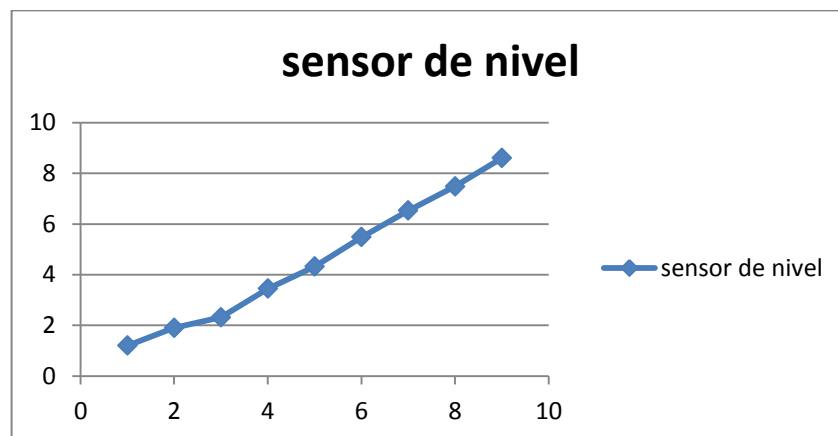


Figura 16. Caracterización sensor ultrasónico. [15]



Figura 17. Sensor ultrasónico Cilíndrico. [16]

5. SENSORES DE FLUJO

La parte más substancial del proceso de dosificación de líquido se encuentra en este sensor, debido a que el control se desarrolla sobre él. Para el proceso se planteó un flujo rango entre 5 gal/día y 170 gal/día.

5.1. MEDIDORES DE FLUJO EN LÍQUIDOS

Para medir flujo se pueden analizar distintos métodos, dependiendo del tipo de flujo volumétrico o másico deseado y por consiguiente del tipo de fluido a medir como se puede observar en las tablas 4 y 5.

Tabla 4. Medidores volumétricos [17]

Sistema	Elemento	Transmisor
Presión diferencial	Placa- orificio Tobera Tubo Venturi. Tubo Pitot Tubo Annubar	Equilibrio de fuerzas Silicio difundido
Área variable	Rotámetro	Equilibrio de movimientos Potenciómetro Puente de impedancias
Velocidad	Vertedero con flotador en canales abiertos Turbina Sonda ultrasónica	Potenciómetro Piezoeléctrico
Fuerza	Placa de impacto	Equilibrio de fuerzas Galgas extensométricas
Tensión inducida	Medidor magnético	Convertidor potenciométrico
Desplazamiento positivo	Disco giratorio Pistón oscilante Pistón alternativo Medidor rotativo - Cicloidal - Birrotor - Oval Medidor paredes deformables	Generador tacometrico o generador de impulsos.
Torbellino	Medidor de frecuencia de termistancia, o condensador o ultrasonidos.	Transductor de resistencia

5.1.1 Medidor de flujo de presión diferencial: Este tipo grupo de flujómetros está basado en la ecuación de Bernoulli que establece que la suma de energía cinética más la energía potencial de altura más la energía potencial debido a la presión que tiene un fluido permanece constante [19].

Se puede deducir que frente a un aumento de velocidad, por ejemplo al pasar por una restricción en la tubería, se producirá una disminución en la presión, Se puede establecer una relación entre la velocidad circulante y la diferencia de presión que se produce. Esta diferencia de presión se puede medir y de ahí determinar la velocidad. Multiplicando esa velocidad por el área de la tubería se obtiene el caudal volumétrico [19].



Figura 18. Medidor de flujo de presión diferencial. [20]

5.1.2. Medidor de flujo de área variable: El rotámetro es un instrumento generalmente de indicación local que consiste en un elemento llamado flotante que se encuentra en un tubo cónico (en la entrada inferior el área es menor que en la salida). El flotador es arrastrado al ir aumentando el caudal y se equilibra en un punto. A cada caudal corresponde un punto de equilibrio, por lo que se puede graduar el rotámetro directamente en el flujo [19].



Figura 19. Medidor de flujo de área variable. [21]

5.1.3. Medidor de flujo de velocidad: Los medidores de tipo turbina se basan en el uso de piezas rotantes que son impulsadas por el flujo del fluido, (tales como hélices empujadas por el fluido) y giran a una velocidad proporcional al caudal del fluido circulante. Los flujómetros a turbina no son aptos para medir productos viscosos ni con arrastre de sólidos [18].



Figura 20. Medidor de flujo de velocidad. [22]

5.1.4. Medidor de flujo de tensión inducida: Los flujómetros electromagnéticos están basados en la Ley de Faraday, de la cual se deduce que en un conductor en movimiento en un campo magnético constante se inducirá un voltaje. Este voltaje será proporcional a la velocidad de movimiento del conductor y a su longitud [19].

Este fenómeno se reproduce en un flujómetro electromagnético, que consta de bobinas que crean el campo magnético, un conductor que lo atraviesa (el fluido en movimiento) sobre el cual se induce la diferencia de potencial, y los electrodos que miden esta diferencia de potencial. Esta será proporcional a la velocidad del fluido, con lo que el caudal se determina sencillamente multiplicando esta velocidad por la sección de la cañería. Estos flujómetros requieren que el líquido a medir tenga un mínimo de conductividad [19].

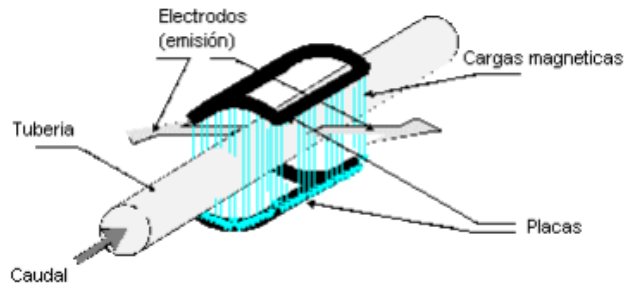


Figura 21. Medidor de flujo de tensión inducida. [23]

5.1.5. Medidor de flujo de desplazamiento positivo: En este tipo de instrumento se llenan cámaras de tamaño conocido y son volcadas aguas abajo. Contando el número de cámaras llenadas en un determinado tiempo se obtiene el caudal [18].

Como ejemplos de este tipo de medidores encontramos a los de engranajes, lóbulos y paletas deslizantes [18].

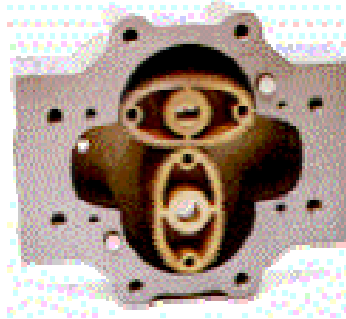


Figura 22. Medidor de flujo de desplazamiento positivo. [24]

5.1.6. Medidor de flujo de ultrasonido: Los flujómetros por ultrasonido están basados en la propagación de ondas de sonido en un fluido. Existen dos principios básicos para esta medición: Tiempo de Tránsito y Efecto Doppler. En los flujómetros por tiempo de tránsito, la velocidad de flujo se determina por la diferencia entre la velocidad de propagación de una onda de sonido a favor y otra en contra del flujo [18].

Los elementos emisores y receptores pueden instalarse por fuera de la tubería sostenidos por abrazaderas. El instrumento de efecto doppler tiene un generador de ultrasonido que emite ondas [19].

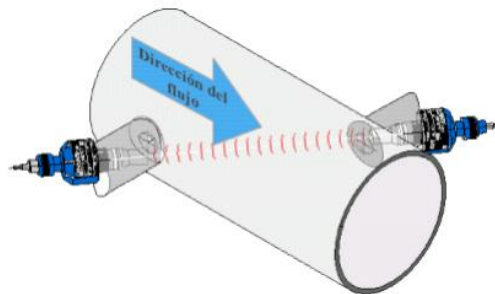


Figura 23. Medidor de flujo de ultrasonido. [25]

Tabla 5. Medidores de flujo de masa. [17]

Sistema	Elemento	Transmisor
Térmico	Diferencia de temperaturas en dos sondas de resistencia.	Puente de wheatstone
Momento	Medidor axial Medidor axial de doble turbina.	Convertidor de par
Fuerza de coriolis	Tubo de vibración	Equilibrio de fuerzas
Presión diferencial	Puente hidráulico	Equilibrio de fuerzas

5.1.7. Medidor de flujo térmico: También llamados medidores de flujo Thomas, se basan comúnmente en dos principios físicos: La elevación de temperatura del fluido en su paso por un cuerpo caliente, y la pérdida de calor experimentada por un cuerpo caliente inmerso en el fluido [19].

El funcionamiento de estos aparatos consta de una fuente eléctrica de alimentación de precisión que proporciona un calor constante al punto medio del tubo por el cual circula el caudal. En puntos equidistantes de la fuente de calor se encuentran sondas de resistencia para medir la temperatura [19].

Cuando el fluido está en reposo, la temperatura es idéntica en las dos sondas. Cuando el fluido circula, transporta una cantidad de calor hacia el segundo elemento de medición, y se presenta una diferencia de temperaturas que va aumentando progresivamente entre las dos sondas a medida que aumenta el

caudal. Esta diferencia es proporcional a la masa que circula a través del tubo [19].

5.1.8. Medidor de flujo de momento: Se basan en el principio de conservación del momento de los fluidos; estos constan generalmente de una turbina que se encuentra acoplada a un medidor de momento angular. En términos comunes se puede decir, que el momento así medido será directamente proporcional al caudal de más del fluido [18].

5.1.9. Medidor de flujo de coriolis: La medición de caudal por el efecto Coriolis, también conocido como medición directa o dinámica, da una señal directamente proporcional al caudal másico y casi independiente de las propiedades del producto como conductividad, presión, viscosidad o temperatura.

La fuerza Coriolis aparece siempre y cuando se trata de una superposición de movimientos rectos con movimientos giratorios. Para el uso industrial de su principio se sustituye el movimiento giratorio por una oscilación mecánica. Dos tubos de medición por donde pasa el producto oscilan en su frecuencia de resonancia [18].

El caudal másico provoca un cambio en la fase de la oscilación entre la entrada y la salida del equipo. Este desfase es proporcional al caudal másico y crea después de una amplificación correspondiente la señal de salida. Las frecuencias de resonancia de los tubos de medición dependen de la masa oscilante en los tubos y por lo tanto de la densidad del producto [18].

5.1.10. Medidor de flujo de presión diferencial: Estos medidores están diseñados para aplicaciones en ambientes difíciles, la falta de sensibilidad ante campos magnéticos y la capacidad de resistir grandes presiones excesivas sin daños, se combinan para hacer de este un instrumento resistente. Es de fácil uso, fácil lectura y fácil mantenimiento, se puede utilizar en tuberías horizontales o verticales. Este dispositivo determina el caudal mediante la medición de la pérdida de presión a través de un orificio calibrado [19].

5.2. SELECCIÓN DEL SENSOR DE FLUJO

Para la selección del sensor de flujo se creó una tabla 6 donde se definen las variables a tener en cuenta para el desarrollo del proceso de la planta dosificadora de líquidos. Se tiene en cuenta los siguientes factores:

- Principio de funcionamiento: se pretende un principio de funcionamiento de tipo coriolis debido a su precisión y exactitud en la medición del flujo.
- Tipo de comunicación: La comunicación es por medio de PROFIBUS o HART y 4-20mA.
- Alimentación: Tiene una alimentación de señal DC preferiblemente 24VDC debido a que es la señal de salida digital que maneja el PLC (controlador lógico programable).
- Rango de medición: De 5 gal/día a 200 gal/día, basándonos en el planteamiento del proyecto.
- Precisión: Debe oscilar entre $\pm 0.2\%$.
- Temperatura: La temperatura oscila entre 40°C y 70°C.

Tabla 6. Estudio de los sensores de flujo [14]

Empresa	Link	Principio de funcionamiento	Especialidad	Comunicación	Alimentación	Temperatura	Precision	Diametro
CFS10 (foxboro)	invensys http://iom.invensys.com/EN/Pages/Foxboro_Mandl_Flow_Coriolis.aspx	Coriolis	IP66 Encendido rapido 10 veces más rapido que uno concencional	*HART *MODBUS	CC - CA	-20°C – 40°C	± 0.25%	1/8" - 2"
2200s (micro motion)	emerson http://www.documentation.emersonprocess.com/groups/public_public_mmisami/documents/data_sheets/ps-001099.pdf	Coriolis de dos hilos	Caudal y densidad	*4-20mA *HART	17-36Vcc	-10°C – 60°C	± 0.2 ml	1/8" - 6"
HONEYWELL	http://www.honeywellsp.com/hw_productos_servicios/hw_industrial/FieldInst/Hw_MC/Hw_Transmisores_Caudal.htm	VORTEX	ESTA MARCA NOS PRESENTA DIFERENTES TIPOS DE TRANSMISORES	*4-20mA *HART	No son compatible con siemnes	-40°C – 80°C	± 0.3%	No son compatible con siemnes
RotaMASS Serie 3	yokogawa http://www.yokogawa.com/us/ia/fieldinstruments/pdf/ROTAMASSbrochure.pdf	Coriolis	Liquidos	*HART *Profibus *Modbus *RTU(RS 485)	90-264Vac 20.5-28.8Vdc	-30°C – 60°C	± 0.2%	1/10" - 6"
TME/UMC3	Heinrichs http://www.heinrichs-mt.com/reallIndex.php?lang=en&group_nr=1&ref=details&prod_nr=3	Coriolis	Liquidos	*HART *Profibus *Modbus *RTU(RS 485)	19 - 36Vdc 90- 265Vac	-20°C – 80°C	± 0.15 ml	por confirmar
Versaflow Coriolis 1000	Honeywell http://hpsweb.honeywell.com/Cultures/en-US/Products/Instrumentation/flow/coriolis/default.htm?	Coriolis	Liquidos	No son compatible con siemnes	No son compatible con siemnes	-60°C-40°C	± 0.8 ml	No son compatible con siemnes

5.2.1. Características del sensor de flujo seleccionado

Para la selección del sensor de caudal se debe tener en cuenta que el líquido al que se va a medir es agua (H_2O) y los rangos de flujo son muy pequeños de 5 gal/día y 170 gal/día o en unidades del sistema internacional 18.97 litros/día, 643.518 litros/día o 0.0128 litros/min y 0,446 litros/min.

El sensor de flujo que se seleccionó para realizar el montaje en la planta de dosificación de líquido es de tipo turbina el cual se prefirió por las excelentes condiciones de trabajo, y facilidades de operación las cuales se enuncian a continuación:

La alta precisión es la característica principal de este sensor, es especial para trabajar con líquidos transparentes sobre una amplia gama de caudales desde muy pequeños hasta muy grandes; la rotación de la turbina es lineal con respecto al caudal, además de una rápida respuesta y excelente repetibilidad y operación sobre un muy amplio rango de temperaturas y presiones.

En la figura 24 se pueden apreciar las partes fundamentales que componen este tipo de sensor.

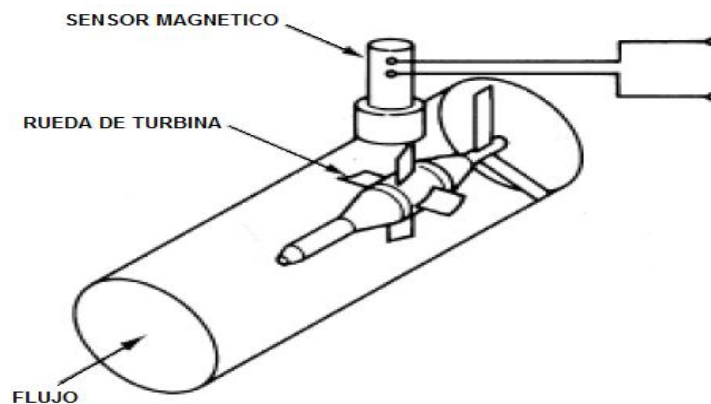


Figura 24. Partes internas del sensor de flujo tipo turbina [15].

5.2.2. Sensor de flujo tipo turbina

Este diseño permite el uso de una turbina en miniatura de 16 mm de diámetro y 0,75 mm de espesor. La rueda se apoya en un eje de zafiro muy pequeño, se mantiene en su posición por dos rodamientos de zafiro. Debido a la ligereza de la rueda y el eje, la rueda de microturbina casi flota en el líquido. Este efecto de flotación libera la fuerza en el eje y en los rodamientos, eliminando virtualmente el desgaste.

La rueda de microtrubina tiene secciones alternas de blanco y negro espaciados uniformemente sobre una superficie de la rueda. A medida que la rueda gira, un haz de luz infrarroja se refleja en cada sección de blanco y se dirige a un fototransistor que detecta cada haz reflejado y las convierte en pulsos. Cuando la rueda gira más rápido, aumenta la frecuencia del pulso. Cuando la rueda se detiene bajo condiciones de flujo cero, no se generan pulsos. Los circuitos de procesamiento del sensor ofrecen salidas analógicas y de pulsos que son linealmente proporcionales a la velocidad de flujo.

Al prototipo de la planta de dosificación líquidos de implemento el sensor de micro turbina de la empresa Mc Millan Co. Modelo 102 (ver figura 17) el cual utiliza un sistema patentado de tipo Pelton, micro turbina, son capaces de medir tasas de flujo de líquido extremadamente bajas de 13mL/min hasta 10 L/min, una excelente precisión de la escala completa de $\pm 1,0\%$, además de brindar una amplia variedad de líquidos a medir (ver anexo B)



Figura 25. Sensor de nivel MCMillan 102 Flo-Sen [15]

Para el manejo del sensor de flujo se realiza una caracterización del mismo el cual nos da esta respuesta:

L/m	Voltios
0,18	1
0,36	1,84
0,54	2,74
0,72	3,76
0,9	4,73
1,08	5,53
1,26	6,47

Tabla 7. Caracterización del sensor de flujo

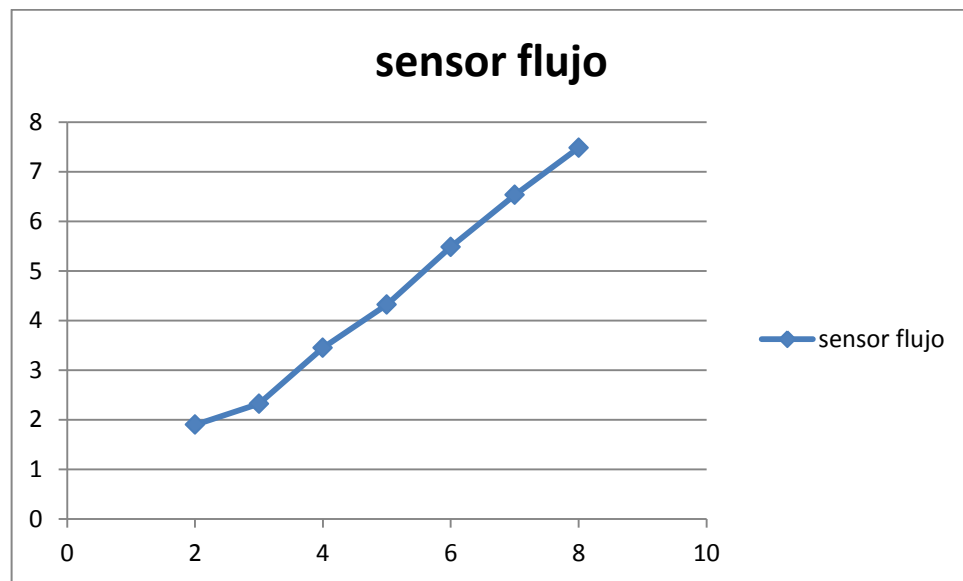


Figura 26. Caracterización del sensor de flujo

6. BOMBAS DOSIFICADORAS DE LÍQUIDO

En una planta de proceso industrial existen multitud de bombas, y como es de esperar, entre ellas la diversidad de tipos es enorme. La función de estos equipos es cambiar de un lugar a otro líquidos y fluidos mediante el aumento de energía del mismo en forma de presión y/o velocidad, el principio básico de estos elementos es el de transformar la energía mecánica en energía cinética.

Cuando se estudian procesos químicos, y de cualquier circulación de fluidos, se debe referir al tema de bombas. Los factores más importantes que permiten escoger un sistema de bombeo adecuado son: presión de bombeo, velocidad del proceso, tipo de fluido a bombear.

Las bombas se pueden dividir fundamentalmente en dos grupos principales:

- Bombas volumétricas o de desplazamiento positivo.
- Bombas dinámicas o de energía cinética.



Figura 26. Clases de bombas [15]

6.1. CLASIFICACIÓN DE LAS BOMBAS.

La principal clasificación de las bombas se realiza atendiendo al principio de funcionamiento por lo cual se explicaran algunas de estas:

6.1.1. Bombas volumétricas o de desplazamiento positivo

El principio de desplazamiento positivo consiste en el movimiento de un fluido causado por la disminución del volumen de una cámara. En la máquina de desplazamiento positivo, el elemento que origina el intercambio de energía, puede tener movimiento alternativo (émbolo) o movimiento rotatorio (rotor). En las máquinas de desplazamiento positivo siempre hay una cámara que aumenta de volumen (succión) y disminuye de volumen (impulsión) por lo que también se le llama bombas volumétricas [30].

A su vez este tipo de bombas pueden subdividirse en:

- **Bombas de émbolo alternativo:** Son en las que existe uno o varios compartimentos fijos, pero de volumen variable, por la acción de un émbolo o de una membrana. En estas máquinas, el movimiento del fluido es discontinuo y los procesos de carga y descarga se realizan por válvulas que abren y cierran alternativamente. Algunos ejemplos de este tipo de bombas son la bomba alternativa de pistón, la bomba rotativa de pistones o la bomba pistones de accionamiento axial [30].
- **Bombas volumétricas rotativas o rotoestáticas:** En las que una masa fluida es confinada en uno o varios compartimentos que se desplazan desde la zona de entrada (de baja presión) hasta la zona de salida (de alta presión) de la máquina. Algunos ejemplos de este tipo de máquinas son la bomba de paletas, la bomba de lóbulos, la bomba de engranajes, la bomba de tornillo o la bomba peristáltica [30].

En la figura 27 se puede observar un ejemplo claro de bombas rotativas.



Figura 27. Bomba rotativa [25]

6.1.2. Bombas dinámicas o de energía cinética

- **Bombas rotodinámicas**, en las que el principio de funcionamiento está basado en el intercambio de cantidad de movimiento entre la máquina y el fluido, aplicando la hidrodinámica. En este tipo de bombas hay uno o varios rodets con álabes que giran generando un campo de presiones en el fluido. En este tipo de máquinas el flujo del fluido es continuo. Estas máquinas hidráulicas generadoras pueden subdividirse en:
 - **Radiales o centrífugas**: Cuando el movimiento del fluido sigue una trayectoria perpendicular al eje del rodete impulsor [20].



Figura 28. Bomba centrífuga [25]

- **Axiales**: Cuando el fluido pasa por los canales de los álabes siguiendo una trayectoria contenida en un cilindro [19].



Figura 29. Bomba axial [27]

➤ **Diagonales o helicocentrífugas:** Cuando la trayectoria del fluido se realiza en otra dirección entre las anteriores, es decir, en un cono coaxial con el eje del rodete [25].

6.2. REQUERIMIENTOS DE LA BOMBA A IMPLEMENTAR

Al hacer un estudio de los diferentes tipos de bombas, se tomó la decisión de implementar una bomba centrífuga, basándonos en sus grandes ventajas en relación a las demás bombas.

Las principales ventajas de la bomba centrífuga son su sencillez, su bajo costo inicial; virtualmente elimina las pulsaciones, la presión inestable; el pequeño espacio que ocupa, su gasto de conservación bajo, su funcionamiento silencioso, prácticamente elimina la interferencia de radiofrecuencia y la adaptabilidad para su acoplamiento a un motor eléctrico o una turbina.

Este tipo de bombas son ampliamente usadas en aplicaciones mineras, en acueductos, industrias químicas, oleoductos y aplicaciones domésticas. Se estima que aproximadamente el 70% de la producción total de las bombas corresponde a bombas centrífugas. Esta es una medida de la importancia de este tipo de bombas.

La condición primordial para la selección de la bomba es el flujo que como se analizó anteriormente es muy pequeño, un promedio máximo de 26,81 Litros/hora y la otra condición es el tipo de alimentación de la bomba la cual será de corriente continua.

Se tiene en cuenta los siguientes factores:

- Principio de funcionamiento: un principio de funcionamiento de tipo turbina y sumergible, ya vimos las ventajas que tienen este tipo de turbina en párrafos anteriores.
- Alimentación: Tiene una alimentación de señal DC preferiblemente 24VDC. Para el control PWM, ya que se muestra de una manera más didáctica y sencilla el control de una bomba.
- Rango de velocidad: alrededor de 3000 y 4000 rpm

En la figura 29 se puede observar la conexión física entre el motor y el PLC por medio del circuito de acondicionamiento de señal, debido a la diferencia de voltaje entre la alimentación de motor y la salida digital del PLC.

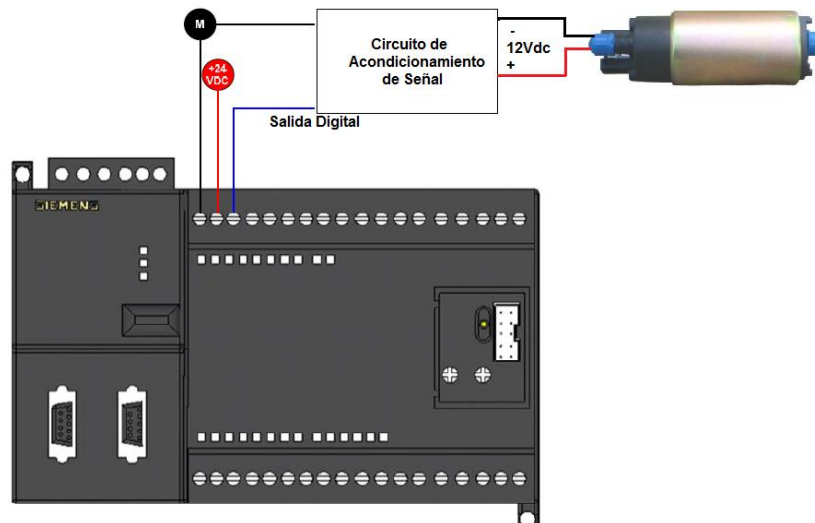


Figura 29. Conexión del motor al SIMATIC 27-200 [15]

6.3. BOMBA IMPLEMENTADA EN EL PROTOTIPO

Para el desarrollo del proyecto de la planta de dosificación de líquidos se utilizó la bomba centrífuga tipo turbina marca Bosch la cual va a transportar el fluido del tanque contenedor al sensor de flujo y de ahí a la tubería principal.

Su armadura le da a la bomba tipo turbina mejor precisión debido a su revestimiento de polímero para permitir un torque impulsor constante del agua sin permitir que haya un retorno del agua gracias a su completa válvula de antiretorno y la disminución del ruido con el rollo supresor; todo esto es creado de manera significativa para así reducir el desgaste y permitir una vida útil más larga (ver anexo D).

El beneficio de utilizar la bomba tipo turbina es:

- La operación superior a 4.000 rpm reduciendo el ruido y la vibración en la operación (tecnología convencional 3000- 4000 rpm).
- Alta seguridad de funcionamiento
- Satisfacción de las exigencias de equipo original.
- Larga duración, mayor vida útil
- Menor ruido
- Excelente caudal de alimentación

- Funcionamiento perfecto en elevadas temperaturas.
- Alto nivel de protección con los equipos electrónicos.
- Menor consumo de energía eléctrica.



Figura 30. Bomba tipo turbina Bosch [28]



Figura 31. Prefiltro de la bomba tipo turbina. [29]

El prefiltro mostrado en la figura 25 es el implementado en la planta de inyección de líquido para prolongar la vida de la bomba tipo turbina. Los prefiltros reducen la cantidad de polvo y residuos que ingresan al sistema de toma de aire, lo que a su vez mantiene el filtro de aire limpio y la bomba en buen funcionamiento.

6.3.1. Conexión al PLC

La alimentación de la bomba tipo turbina es de 12 VDC.; por lo que se realiza un acondicionamiento de señal de 12 VDC. a 24 VDC, debido a que el sistema de control SIMATIC S7-200 al cual se va a conectar la bomba cuenta con salidas de voltaje de 24 VDC.

El diseño de acondicionamiento de señal se basa principalmente en un MOSFET de referencia IRF44Z (ver anexo C). Se ubica un diodo en paralelo al motor para evitar que se dañe por fugas de corriente. En la figura 22 se muestra el circuito de control del motor.

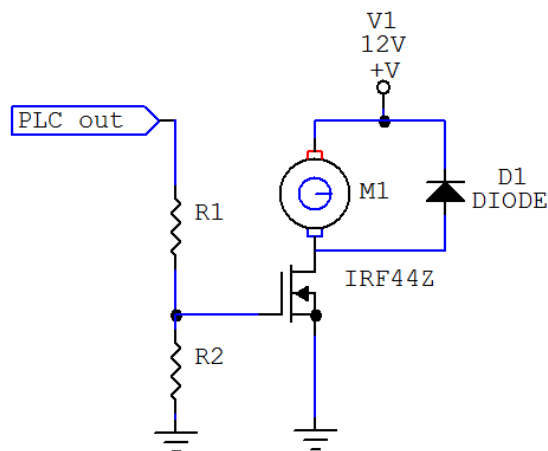


Figura 26. Control de motor DC [15]

La conexión entre el sistema de control SIMATIC S7-200 y el circuito de acondicionamiento de señal se hace por medio de bornas para llevar el protocolo de conexiones en los gabinetes.

Para la selección de las resistencias y el diodo se realizaron las siguientes ecuaciones:

El voltaje (gate-source) V_{gs} es:

$$V_{gs} = \frac{24 * R1}{R1 + R2}$$

Al suponer una resistencia $R1$ de $3 \text{ K}\Omega$ y reemplazando en la fórmula:

$$V_{gs} = \frac{72 * 10^3}{3 * 10^3 + R2}$$

Para que el mosfet trabaje en la zona de triodo se necesita un V_{gs} de 6 v.

Desprendo $R2$ de la ecuación anterior obtenemos que $R2 = 9 * 10^3$

7. SISTEMA DE AUTOMATIZACIÓN

Dentro de la filosofía de automatización total, Siemens ha desarrollado una serie de familias de productos que se engloban dentro de la denominación SIMATIC.

Una de estas familias de productos está compuesta por los autómatas SIMATIC S7. Dentro de esta familia de autómatas se puede hacer una subdivisión empezando desde los autómatas más pequeños y con menos prestaciones hasta los autómatas más grandes y con más prestaciones.[15]

7.1. CARACTERÍSTICAS GENERALES

- El PLC para el máximo efecto de automatización al mínimo coste.
- Montaje, programación y uso particularmente fáciles.
- De alta escala de integración, requiere poco espacio, potente.
- Aplicable tanto para los controles más simples como también para tareas complejas de automatización.
- Aplicable aislado, interconectado en red o en configuraciones descentralizadas.
- El PLC también para campos donde, por motivos económicos, no se aplicaban hasta ahora autómatas programables.
- Con destacadas prestaciones de tiempo real y potentes posibilidades de comunicación (PPI, PROFIBUS-DP, AS-Interface).

En la siguiente tabla se presentan de forma general los datos técnicos de la CPU 224 XP:

Tabla 7. Datos técnicos de la CPU 224 XP [30]

CPU 224XP	
MEMORIA	
Tamaño del Programa de Usuario Con edición en Runtime. Sin edición en Runtime.	12288 bytes 16384 bytes
Datos de usuario	10240 bytes
Respaldo (Condensador de alto rendimiento) (Pila opcional)	Típ. 100 h (Mín. 70 h a 40°C) Típ. 200 días
E/S	
E/S Digitales	14 E/10 S
E/S Analógicas	2 E/1 S
Tamaño imagen E/S Digitales	256 (128 E/128 S)
Tamaño imagen E/S Analógicas	64 (32 E/32 S)
Nº Máx. de Módulos de Ampliación	7 módulos *(siempre y cuando no se exceda la corriente necesaria de la CPU)
Nº Máx. de Módulos Inteligentes	7 módulos *(siempre y cuando no se exceda la corriente necesaria de la CPU)
Entradas de Captura de Impulsos	14
Contadores Rápidos	6 contadores en total: 4 a 30 kHz 2 a 200 kHz 3 a 20 kHz 1 a 100 kHz
Salidas de Impulsos	2 a 100 kHz (solo en salidas DC)
Datos Generales	
Temporizadores	256 temporizadores en total: 4 temporizadores de 1 ms 16 temporizadores de 10 ms 236 temporizadores de 100 ms
Contadores	256 (respaldo por condensador de alto rendimiento o pila)
Marcas Internas Almacenadas al Desconectar la CPU	256 (respaldo por condensador de alto rendimiento o pila) 112 (almacenamiento en EEPROM)
Interrupciones Temporizadas	2 con Resolución de 1 ms
Interrupciones de Flanco	4 flancos positivos y/o 4 flancos negativos
Potenciómetros Analógicos	2 con Resolución de 8 bits
Velocidad de Ejecución Booleana	0.22 µs por operación
Reloj de Tiempo Real	Incorporado
Cartuchos Opcionales	Memoria y pila
Comunicación Integrada	
Puertos (Potencia Limitada)	2 Puertos RS-485
Velocidades de transferencia PPI, DP/T	9.6, 19.2 y 187.5 kbit/s
Velocidades de Transferencia Freeport	1.2 kbit/s a 115.2 kbit/s
Nº Máximo de Estaciones	32 por segmento, 126 por red
Nº Máximo de Maestros	32
Punto a Punto (Modo Maestro PPI)	Sí (NETR/NETW)
Enlaces MPI	4 en total, 2 reservados (1 para una PG y 1 para un OP)

El PLC se alimenta con una fuente de 24 VDC marca SITOP de la familia de SIEMENS, a su vez esta se alimenta 110 VAC

Este controlador Lógico Programable se seleccionó debido a que es un PLC de gama alta-media y por consiguiente cuenta con varias aplicaciones y módulos adaptables a diferentes procesos

7.2. CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMABLE SIMATIC S7-200 CPU 224 XP

La CPU 224 XP es la parte central de procesamiento del PLC, esta CPU se alimenta de 24VDC, por lo que se requiere una fuente SITOP de 24VDC y 5A. Esta fuente de alimentación proporciona la corriente necesaria para proveer a la unidad central, los módulos de ampliación conectados a esta y a la instrumentación utilizada.

La CPU se encarga de ejecutar el programa previamente cargado y de almacenar los datos, las entradas y salidas controlan el sistema de automatización y la interface de comunicación permite conectar la CPU a una unidad de programación o a otros dispositivos. [30]

Todas las CPU S7-200 y módulos de ampliación poseen diodos luminosos que indican: el modo de operación de la CPU (RUN O STOP), el estado de las entradas y salidas integradas y también indica posibles fallos que se hayan detectado en el sistema.

La CPU 224XP (ver figura 27) cuenta con 14 entradas digitales de 0V a 24VDC y 10 salidas digitales a 24VDC, 2 entradas analógicas y 1 salida analógica, dos puertos de comunicación RS-485 y una fuente de alimentación para instrumentación.



Figura 31. SIMATIC S7-200 CPU 224XP. [15]

7.2.1. Unidades de entradas y salidas

Se puede disponer de dos tipos de módulos de entradas y/o salida:

- **Digitales:** Se basan en el principio de todo o nada, es decir o no conducen señal alguna o poseen un nivel mínimo de tensión. Dentro del programa de usuario estas entradas/salidas se manejan a nivel de bit.
- **Analógicas:** Pueden poseer cualquier valor dentro de un rango determinado especificado por el fabricante. Estas señales se manejan a nivel de byte o palabra (8/16 bits) dentro del programa de usuario.

En la figura 32 se muestra la distribución y la forma en la que se realizaron las conexiones de las E/S analógicas y digitales de la CPU para un adecuado funcionamiento y operación del dispositivo.

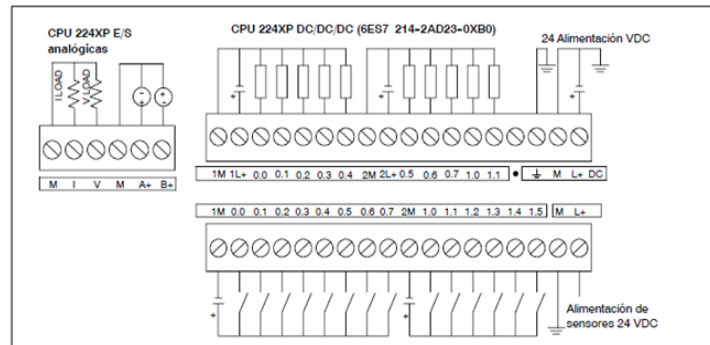


Figura 32. Diagrama de cableado CPU 224xp [30]

El nivel de control implementado para la automatización de la planta inyectora de líquido está conformado por el software de programación SIMATIC STEP 7 – Micro/WIN V4.0.4.16, el cual trabaja bajo el sistema operativo de Windows 98, Windows NT, Windows 2000, Windows XP.

Está diseñado para trabajar con la CPU 224 XP y con el módulo CP 243-1 implementados en el proceso.

Para la configuración del Software de programación referirse al anexo E, debido a que son varios pasos los que se debe seguir para tener una buena comunicación entre la CPU y los módulos anexos a ella.

7.3. SALIDA DEL PWM (MODULACIÓN DE ANCHO DE IMPULSO)

El control de la bomba de dosificación de líquido se fundamenta en alterar su velocidad, se necesita un voltaje variable DC de la fuente de alimentación y esto es exactamente lo que hace un controlador PWM [31].

En la figura 33 se observa que la salida Q0.0 tiene un ciclo de trabajo del 10%, después de una interrupción el ciclo de trabajo cambia al 50%.

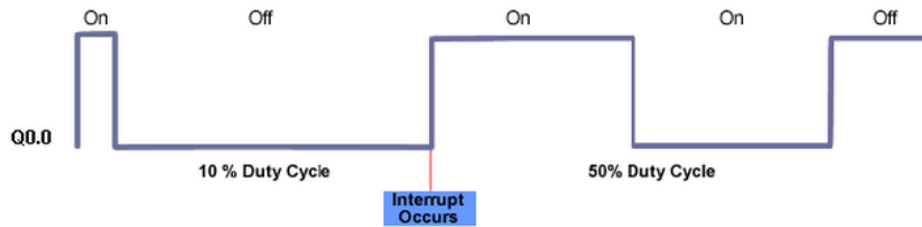


Figura 33. Ejemplo PWM

Para controlar la velocidad de la bomba se varía (modula) el ancho de los pulsos, y como la bomba siempre se encuentra alimentado a su tensión nominal nunca se verá reducido su torque nominal [31].

La función PWM ofrece un tiempo de ciclo fijo con un ciclo de trabajo variable. La salida PWM se ejecuta continuamente tras haberse iniciado a la frecuencia indicada (tiempo de ciclo). El ancho de impulsos varía según sea necesario para obtener el control deseado. El ciclo de trabajo se puede expresar como porcentaje del tiempo de ciclo, o bien como valor de tiempo correspondiente al ancho de impulsos. El ancho de impulsos puede estar comprendido entre 0% (sin impulsos, siempre desactivado) y 100% (sin impulsos, siempre activado), esto provee una salida digital que es similar a una salida analógica [26].

Para tener una buena configuración del módulo PWM referirse al Anexo F.

7.4. MÓDULO PID (SISTEMA DE CONTROL)

La variable a controlar es el flujo del líquido que va a salir del contenedor y será inyectado en la tubería. Se hará por medio de un control PID sobre la velocidad del motor y con el sensor de flujo se medirá la intensidad del líquido y corregir la respuesta.

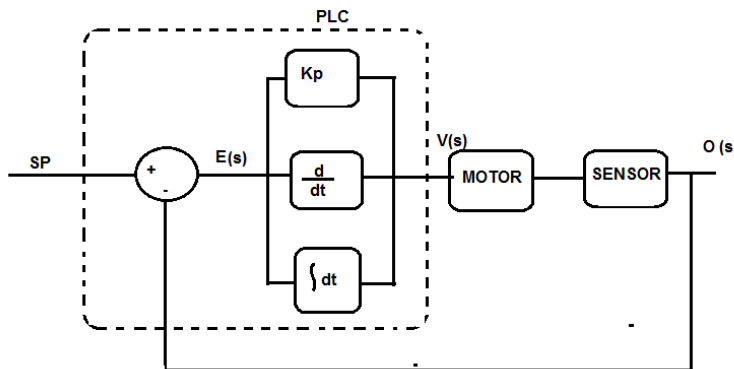


Figura 34. Sistema de control de velocidad [15].

En la figura 34, $E(s)$ representa la señal de error y es la diferencia entre la medida del sensor de flujo y SP (set point) la cual es la referencia. La zona marcada con línea discontinua representa el PLC, en el que se encuentra el sistema de control (PID) y desde el que se genera la señal de referencia.

El PLC entregará una salida digital con la frecuencia de onda del PWM por sus siglas en inglés (Pulse Wide Modulation) es una modulación por ancho de pulso la cual controlará el motor DC para la salida del líquido.

7.4.1. Creación del programa de control

El programa de control PID realizará las siguientes operaciones:

- Leer de la entrada analógica el valor de la señal que se dese controlar, en este caso el flujo del líquido.
- Comparar esta medida con la referencia y obtener el error de la resta de los dos valores.
- Aplicar el algoritmo de control PID al error, calculando los efectos, proporcional, diferencial (derivada del error) e integral (integral del error).
- Escribir en la salida digital la frecuencia de onda del PWM.

Y todas las operaciones se deben repetir periódicamente, con una frecuencia ajustable según el requerimiento del proceso a crear.

El programa Micro/WIN ofrece un asistente que permite generar el programa especificando únicamente los ajustes deseados: fundamentalmente el periodo de muestreo y valores de las constantes proporcional, integral, diferencial.

Para tener una buena configuración del módulo PID referirse al anexo G

8. SISTEMA SCADA

Los sistemas SCADA utilizan la computadora y tecnologías de comunicación para automatizar el monitoreo y el control de procesos industriales. Estos sistemas son de partes integrales de la mayoría de los ambientes industriales complejos o geográficamente dispersos, ya que pueden obtener la información de una gran cantidad de fuentes rápidamente, y la presentan a un operador en una forma amigable. Los sistemas SCADA mejoran la eficacia del proceso de monitoreo y control proporcionando la información oportuna para poder tomar decisiones operacionales apropiadas. [32]

SCADA es el acrónimo de Supervisory Control And Data Acquisition (Supervisión, Control y Adquisición de Datos). Es una aplicación de software diseñado con la finalidad de controlar y supervisar datos a distancia, los cuales se basan en la adquisición de datos de los procesos remotos. [32]

8.1. WONDERWARE

Las soluciones HMI/SCADA a menudo imponen demandas complejas a las arquitecturas de software. InTouch HMI Visualization de Wonderware, combinado con la premiada Wonderware System Platform, basada tecnología ArchestrA, se encuentra posicionado de manera única para superar estos retos [33].

Las soluciones construidas sobre la tecnología ArchestrA se benefician de una arquitectura de software única, abierta y escalable que puede conectarse a prácticamente cualquier sistema de automatización, unidad terminal remota (RTU), dispositivo electrónico inteligente (IED), controlador lógico programable (PLC), base de datos, historiador o sistema de negocios en uso hoy en día. La naturaleza abierta de esta plataforma permite a los usuarios expandir sus sistemas existentes sin necesidad de adquirir nuevo hardware o sistemas de control [33].

La implementación de aplicaciones geográficamente dispersas, desde unos cuantos cientos hasta un millón de I/O, y desde un solo nodo hasta cientos de estaciones, puede realizarse de manera rápida y segura [33].

Entre los beneficios del software son:

- La solución de software abierto para SCADA más sencilla y eficaz.
- Aplicaciones SCADA altamente disponibles, fiables y escalables.
- Redundancia de software a un solo click.

- Aprovecha la arquitectura de Arcestra para facilitar la configuración y administración de las operaciones y la seguridad del sistema compatible con capacidades de seguridad TI.
- Permite que los usuarios diseñen, creen, desplieguen y mantengan aplicaciones SCADA normalizadas.
- Ofrece los costes más bajos respecto a la vida útil del sistema.

8.2. COMUNICACIONES

Los protocolos que se utilizan en las comunicaciones del proceso son una serie de normas que deben aportar las siguientes funcionalidades:

- Permitir localizar un ordenador de forma inequívoca.
- Permitir realizar una conexión con otro ordenador.
- Permitir intercambiar información entre ordenadores de forma segura, independiente del tipo de máquinas que estén conectadas
- Abstracta a los usuarios de los enlaces utilizados (red telefónica, radioenlaces, satélite...) para el intercambio de información.
- Permitir liberar la conexión de forma ordenada.

8.2.1. OPCLink

El OPCLink Wonderware es un programa de aplicación de Microsoft Windows que actúa como un convertidor de protocolo de comunicaciones. Esto permite que otros programas de aplicación de Windows tengan acceso a los datos de los servidores OPC locales o remotos.

OPCLink detecta automáticamente que versión OPC de acceso de datos se implementa en los servidores OPC y utiliza la última versión disponible. OPCLink se conecta a servidores OPC, convierte los comandos del cliente de protocolo OPC y transfiere los datos de nuevo a los clientes que utilizan los protocolos de comunicación DDE, FastDDE o SuiteLink.

8.2.2. Protocolos de comunicación

- **Dynamic Data Exchange (DDE):** Es un protocolo de comunicaciones desarrollado por Microsoft para permitir que las aplicaciones en el entorno de Windows para enviar / recibir datos e instrucciones desde / hacia los demás. Se implementa una relación de cliente-servidor entre dos aplicaciones que se ejecutan simultáneamente.

La aplicación de servidor proporciona los datos y acepta solicitudes de cualquier otra aplicación interesada en sus datos. Aplicaciones solicitando se llaman clientes. Algunas aplicaciones, tales como Intouch y Microsoft Excel al mismo tiempo pueden ser un cliente o un servidor. [36]

- **FastDDE:** Proporciona un medio de embalaje de muchos propietarios de Wonderware mensajes DDE en un solo mensaje de Microsoft DDE. Este empaque mejora la eficiencia y el rendimiento reduciendo el número total de transacciones DDE requiere entre un cliente y un servidor.

Aunque FastDDE Wonderware se ha extendido la utilidad de DDE para nuestra industria, esta extensión está siendo empujada a sus limitaciones de rendimiento en entornos distribuidos.[36]

- **SuiteLink** utiliza un protocolo TCP / IP y está diseñado específicamente para satisfacer las necesidades industriales, tales como la integridad de datos, de alto rendimiento, y más fácil diagnóstico. Este protocolo estándar es compatible con Microsoft Windows 2000, Windows XP y Windows 2003.

SuiteLink no es un reemplazo para el DDE o FastDDE. El protocolo utilizado entre un cliente y un servidor depende de las conexiones de red y configuraciones. SuiteLink fue diseñado para ser la red de datos estándar industrial de distribución y ofrece las siguientes características:

- Tiempo de Calidad Valor (VTQ) coloca una marca de tiempo y el indicador de calidad en todos los valores de los datos entregados a los clientes que reconozcan VTQ.
- Amplio diagnóstico de la transmisión de datos, la carga del servidor, el consumo de recursos informáticos y la red de transporte son accesibles a través de Microsoft Windows 2000, Windows XP y Windows 2003 de funcionamiento del monitor de rendimiento de sistemas. Esta característica es fundamental para el esquema y el mantenimiento de las redes de distribución industrial.
- Consistente grandes volúmenes de datos se puede mantener entre aplicaciones, independientemente de si las aplicaciones están en un solo nodo o distribuidos en una cuenta de nodos de gran tamaño.

- El protocolo de transporte de la red es TCP / IP utilizando el estándar de Microsoft WinSock interfaz

Para tener una buena configuración del OPCLink para la planta de dosificación de líquidos referirse al anexo G.

8.3. ARQUITECTURA DEL PROCESO

Para explicar la arquitectura del sistema SCADA se divide en tres secciones:

- Software de adquisición de datos y control.
- Sistemas de adquisición y mando.
- Sistema de interconexión.



Figura 35. Arquitectura de la planta de dosificación de líquido [15]

El software de adquisición de datos y control esta implementado en el software Wonderware Intouch. El usuario, mediante una interfaz gráfica que posee herramientas de visualización y control, tiene acceso al sistema de control de proceso este es el sistema servidor. La comunicación entre estos dos sistemas se realiza a través de Ethernet.

El sistema de control recibe el estado del proceso a través de los elementos de control e informa al usuario a través de las herramientas HMI. Basándose en los comandos ejecutados por el usuario, el sistema del proceso inicia las acciones necesarias para mantener el control del sistema.

La transmisión de la información entre los elementos de campo y el sistema del proceso se lleva a cabo mediante buses de campo. De esta forma mediante el sistema de adquisición de datos y control (Wonderware) se integra todo el proceso de forma automática.

8.4. INTERFAZ GRAFICA

Para la planta inyectora de líquido se desarrolló una interfaz gráfica de manera que se pueda operar la máquina y las variables de una manera muy fácil, en la que se observe en detalle las variaciones en tiempo real, sus históricos, posibles fallas, alarmas de los elementos de control y las variables del proceso; además de ejercer control sobre los actuadores que hacen parte del mismo.

La interfaz gráfica está conformada por cinco pantallas por las cuales el usuario puede navegar y puede supervisar y controlar el comportamiento general del proceso.

- **Pantalla Principal**

A esta pantalla se le asignó el nombre “PLANTA DE INYECCIÓN DE LIQUIDO” (ver figura 32). Esta pantalla es la entrada principal al proceso, en ella se visualiza las instituciones concernidas al desarrollo del proceso.

En ella se encuentran los botones que nos van a llevar a cada una de las diferentes zonas de trabajo de la HMI.

Si se oprime el botón identificado como “PROCESO” abrirá la pantalla de mayor relevancia que es donde se muestra todo el proceso en tiempo real. Al oprimir el botón “TIEMPO REAL” mostrara una pantalla con los gráficos en tiempo real de las variables del proceso. Y si selecciona el botón “HISTÓRICOS” mostrará una pantalla con las gráficas de los históricos de las variables del proceso y una tabla de los históricos de las alarmas.



Figura 36. Pantalla principal Intouch [15]

- **Pantalla del proceso**

Esta pantalla recibe el nombre de “PROCESO PLANTA DE INYECCIÓN” y se puede acceder a ella desde la pantalla principal oprimiendo el botón identificado con el nombre “PROCESO”.

En esta se puede fácilmente visualizar la planta de inyección de líquido y los estados de los actuadores y de las variables del proceso en tiempo real, y así saber que está sucediendo en cada parte del proceso en general.

Se puede observar cada uno de los componentes del sistema como son: tanque contenedor del líquido a inyectar, sensor de nivel, sensor de flujo, tubería de inyección, y tubería a la cual se le va a inyectar el líquido (ver figura 37)

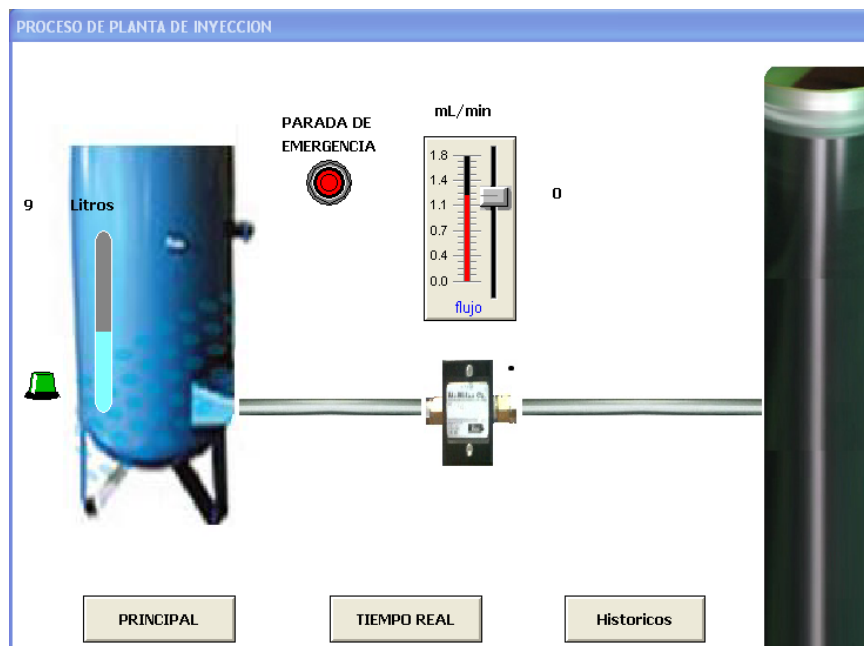


Figura 37. Pantalla del proceso de inyección de líquido [15]

En esta pantalla se puede ejercer control sobre el flujo de líquido a inyectar por medio de un slider llamado “Set Point” el cual indica un máximo de 1.0 y un mínimo de 0.0 o teniéndolo en porcentaje de 0% a 100%, además de estar al tanto del nivel del tanque, observar si los sensores están activos o desactivados. Contado con tres botones los cuales llevan a la ventana principal, los gráficos en tiempo real y los históricos de las variables y las alarmas.

- **Pantalla en tiempo real**

Esta pantalla recibe el nombre de “RESPUESTA EN TIEMPO REAL” y se puede acceder a ella desde la pantalla principal o desde la pantalla de proceso oprimiendo el botón identificado con el nombre “TIEMPO REAL”.

En esta pantalla se encuentran los gráficos de las tendencias en tiempo real de las variables del proceso como son nivel y flujo (ver figura 38). Para poder representar en una curva de respuesta continua al usuario las diferentes variables.

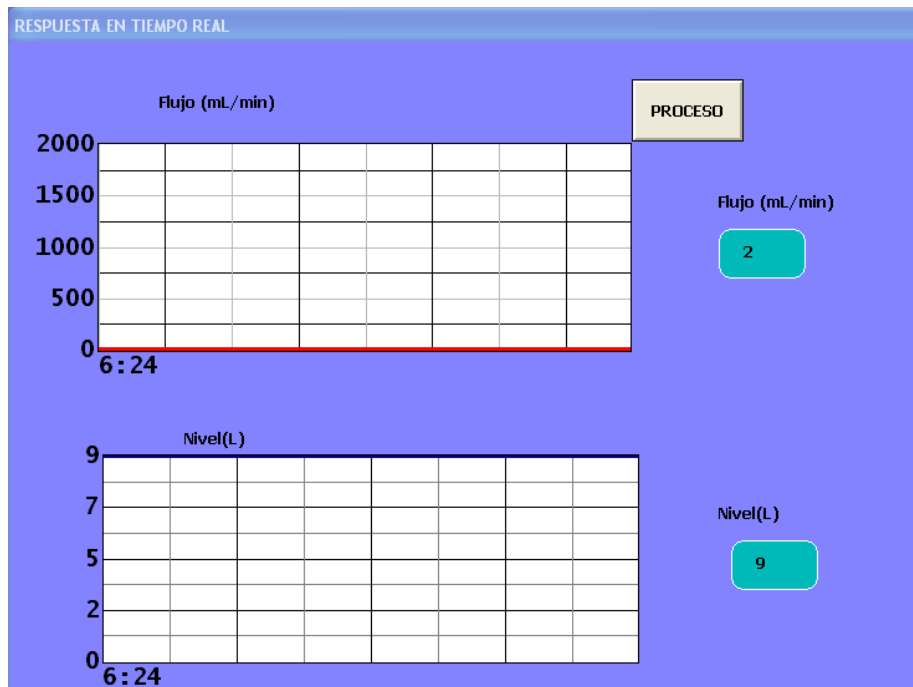


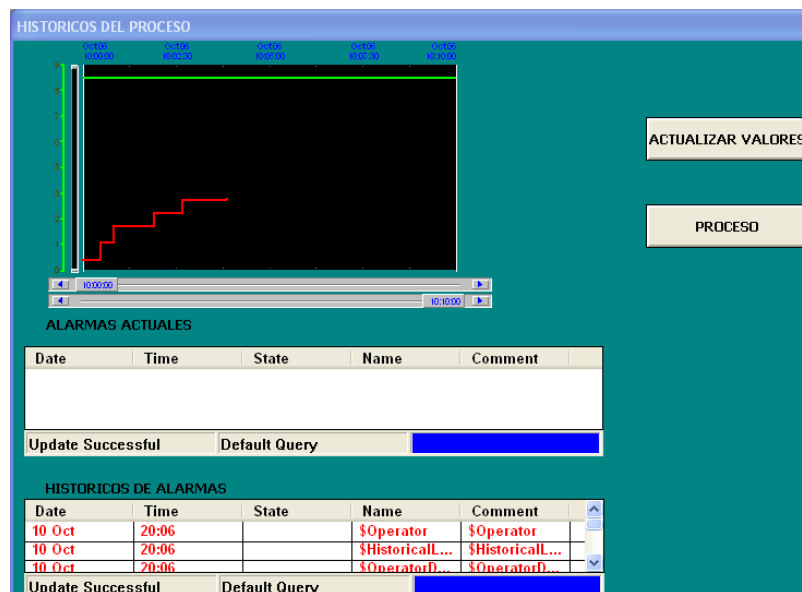
Figura 38. Gráficos de tendencias en tiempo real [15]

- **Pantalla de históricos**

Esta pantalla recibe el nombre de “HISTÓRICOS DEL PROCESO” y se puede acceder a ella desde la pantalla principal o desde la pantalla de proceso oprimiendo el botón identificado con el nombre “HISTÓRICOS”.

La creación de esta pantalla tiene como objetivo presentar al usuario las variables obtenidas con anterioridad de forma gráfica, igualmente de la posibilidad de tener los datos guardados en ficheros de Excel. Además de tener un registro histórico de las alarmas ocurridas durante el proceso, saber cuál alarma se activó, en qué momento se activó, etc.

También está conformada por dos botones uno llamado “ACTUALIZAR DATOS”



ayuda en el momento de crear el grafico de históricos a ir actualizando los datos de las variables y el otro botón llamado “PROCESO” nos envía de vuelta al proceso en tiempo real.

Figura 39. Pantalla grafico de tendencias de históricos y alarmas [15].

- **Pantalla alarma**

Es una ventana emergente llamada “ALARMA DEL TANQUE” que se activará cada vez que presente una calamidad durante el proceso cuenta con un botón denominado “ENTERADO” para dar a conocer al proceso que ya se está enterado del inconveniente y se está buscando la solución.

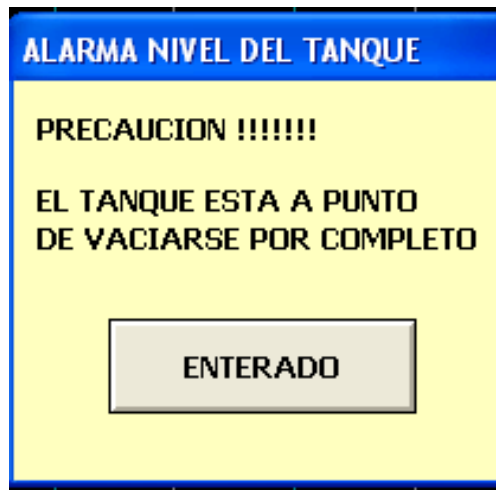


Figura 40. Alarma nivel del tanque [15]

9. CONSTRUCCIÓN DE LA PLANTA DE DOSIFICACIÓN DE LÍQUIDOS

El desarrollo del presente proceso está referido en el diseño e implementación de un prototipo de la planta para dosificación de líquidos y el desarrollo del sistema SCADA. Este prototipo está conformado por un sistema de control de la potencia del motor de inyección de líquido, manteniendo un flujo constante en la tubería; además la visualización de la posición en donde se encuentra el nivel del líquido en el contenedor.

Este sistema permitirá evaluar en el laboratorio una configuración óptima para la selección de la instrumentación, la evaluación de la lógica de control para la programación y el proceso de desarrollo de software en un sistema SCADA, que posteriormente se pretende implementar en el sector petrolero.

9.1. INSTRUMENTACIÓN DEL PROCESO

Para poder llevar a cabo este proceso se necesita de la intervención de elementos que permitan un ágil y correcto funcionamiento de la máquina de inyección.

En el caso específico del Sistema SCADA, se maneja la instrumentación de tipo electrónico, allí la variable física se convierte a una señal eléctrica que puedan ser transmitidas a este tipo de equipos. En la industria se utilizan señales de 4-20mA 0-5VDC, 0-20mA DC, 1-5mA DC, entre otras.

Para un pozo petrolero las señales básicas a transmitir son: nivel, Flujo y variables de control de las bombas de succión como la corriente y la frecuencia del motor.

En la automatización que se realizó para el proceso del banco de pruebas inyección de líquido inhibidor en tuberías de pozos petroleros se tomaron en cuenta tres variables, las cuales son: nivel, flujo y frecuencia del motor de inyección.

Tabla 8. Inventario de señales del proceso [15]

INVENTARIO DE SEÑALES DE CONTROL DEL PROYECTO				
ENTRADAS ANÁLOGAS				
INSTRUMENTO	RANGO DE OPERACIÓN	SEÑAL DE SALIDA	IDENTIFICACIÓN ISA	DESCRIPCIÓN
Sensor transmisor de nivel	13mL/m – 10L/m	4-20 Ma	LT1	Registra el nivel en el tanque contenedor
Sensor transmisor de flujo	70mm – 800mm	4-20 mA	FT1	Registra el flujo que se está inyectando en la tubería
SALIDAS DIGITALES				
Elemento de control	RANGO DE OPERACIÓN	SEÑAL DE CONTROL	IDENTIFICACIÓN ISA	DESCRIPCIÓN
Motor D.C.	3000 – 4000 rpm	0 – 12 VDC	M1	Impulsa el líquido del tanque a la tubería

9.2. CONSTRUCCIÓN DEL GABINETE DE CONTROL

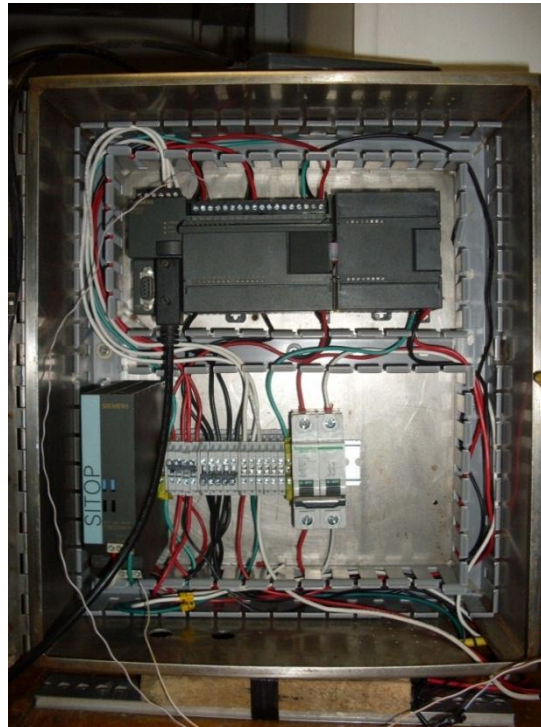


Figura 41. Gabinete principal de control [15]

El gabinete principal se construyó en acero inoxidable y está conformado por:

- **Fuente SITOP**

El estrecho modelo para fijar a perfil DIN suministra 24 V /2,5 A y se conecta a 24 V DC, por ejemplo, en la salida de una fuente SITOP.



Figura 42. Fuente SITOP [15]

- **Bornas**

Son las encargadas de hacer las conexiones internas del gabinete entre el PLC y el proceso.

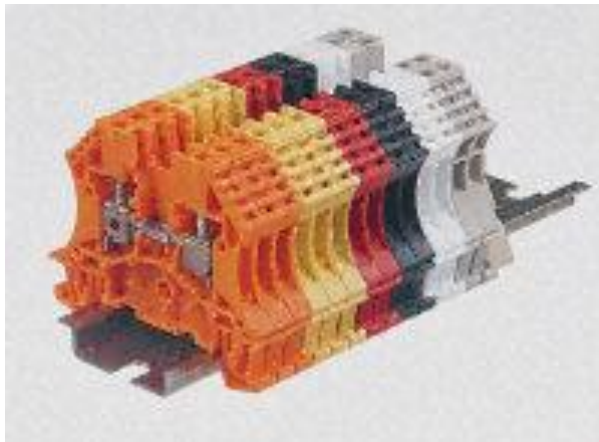


Figura 43. Borna para perfil DIN [15]

- **Breaker bipolar**

Interruptor de protección contra sobrecargas y/o cortocircuitos, implementado para proteger la fase empleada para la alimentación de la fuente SITOP modular. Está en capacidad de soportar corrientes hasta de 6 A.



Figura 44. Breaker bipolar [15]

- **PLC SIEMENS S7- 200 CPU 224 XP**

En la automatización de la máquina de dosificación de líquidos se implementó un PLC como unidad terminal remota.



Figura 45. Simatic s7 200 CPU 224 XP [15]

- **Módulo de comunicación Ethernet**

El modulo Ethernet CP 243-1 es un procesador de comunicaciones para conectar el sistema S7-200 a Industrial Ethernet (IE). El S7-200 se puede configurar, programar y diagnosticar vía Ethernet utilizando STEP 7 Micro/WIN



Figura 46. Modulo Ethernet CP 243-1 [15]

10. PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO

El desarrollo de las pruebas hace parte fundamental del proyecto, ya que permite evaluar y corroborar el comportamiento del prototipo y de cada uno de los instrumentos.

Se comienza por las pruebas de comunicación entre el computador y el s7 – 200 con el cable Ethernet, cargando el programa ya terminado en el Step7 – Micro/WIN y probar el proceso desde este software; luego se inicia el proceso de la maquina desde la ventana de la interfaz gráfica y se verifica el funcionamiento del proceso de control la visualización de las variables nivel y flujo.

A continuación se muestran los resultados obtenidos en el proceso de inyección de líquido:

- **Nivel:**

En la gráfica en tiempo real se observa el nivel del tanque que se encuentra en 18 litros, igualmente en el taque del proceso se indica la misma cantidad como se muestra en la figura 43 , es así como el operario puede darse cuenta si el sistema tiene el nivel suficiente para poder trabajar de manera óptima.

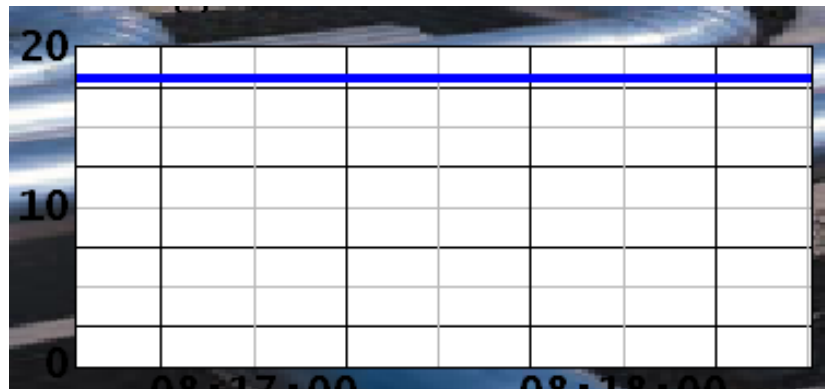


Figura 47. Respuesta del nivel tanque en tiempo real [15].



Figura 48. Respuesta del nivel del tanque en el proceso [15].

- **Alarma**

En el momento en que el nivel del tanque sea mínimo en el Scada se visualizará una ventana emergente la cual nos indique que hay que recargar de líquido el tanque contenedor.

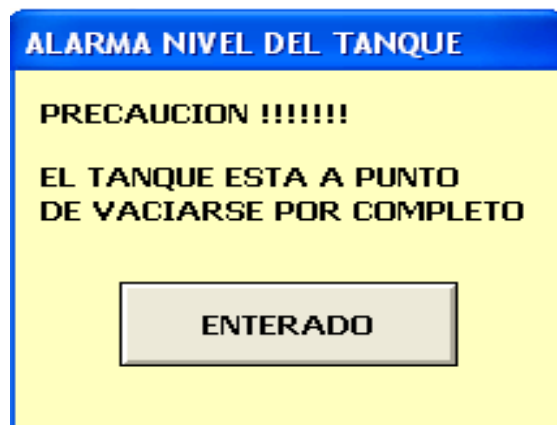


Figura 49. Respuesta de alarma a nivel mínimo del tanque [15].

- **Flujo**

En la gráfica en tiempo real se observa la intensidad del caudal y si ahí fluctuaciones, para que decida cuanto liquido se va a inyectar en la tubería el operario y así pueda saber si hay que aumentar o disminuir el flujo.

En la gráfica 15 se observa el aumento del flujo en tiempo real.

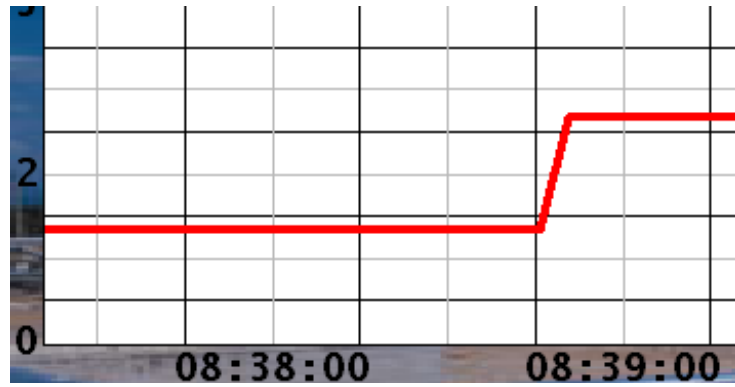


Figura 50. Respuesta del flujo ante un aumento [15].

RECOMENDACIONES

- Al encontrarse a cargo de un proyecto para una determinada empresa debe tener en cuenta los alcances y los posibles inconvenientes que pueda presentar el proyecto a la hora de la ejecución.
- Para el desarrollo de un proyecto se debe estar preparado para solventar cualquier problema pero a su vez encajar el trabajo con los normas de seguridad industrial que cubran dicho proyecto, ya que si no se tienen en cuenta esto podría ocasionar graves problemas en su funcionamiento.
- El ejecutor del proyecto debe tener en cuenta hacer una visita previa antes de dar inicio al proceso, para saber con qué material cuenta y que necesitara para lograr los alcances del proyecto.

CONCLUSIONES

- Para iniciar un proyecto de monitoreo y control de inyección de líquidos se debe realizar un estudio de los equipos que formarán parte del proceso como son motor, sensorica, controlador, entre otros, además de tener en cuenta que tipo de conexión, comunicación, alimentación maneja cada uno de estos dispositivos.
- Al implementar un sistema SCADA se debe tener un gran dominio en el tema de los niveles que conforman el SCADA y quienes complementan cada uno de estos niveles, para así entregar una mejor solución, más completa y que cumpla con las expectativas de la empresa.
- El ingeniero a cargo del proyecto debe proporcionar una solución integral entre software y hardware logrando una base sólida y de esta forma brindar la mejor alternativa y económica.
- La planta de inyección de líquidos presenta una buena respuesta para resolver el problema que se planteó al inicio de este proceso, ya que se pueden medir y minimizar los factores que afectan actualmente la inyección de líquido en las tuberías.
- Se logró construir un sistema automático que cumpliera con los requisitos para la implementación del sistema SCADA en la dosificación del líquido el cual visualiza el nivel del tanque contenedor y efectúa un control sobre el flujo a dosificar.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Técnicas de control de la corrosión. Todo productividad. Página de internet <http://todoproductividad.blogspot.com/2010/11/tecnicas-de-control-de-la-corrosion.html> [consulta 2011-08-01]
- [2] Biblioteca Digital del Instituto Latinoamericano de la Comunicación Educativa: Problemas de Corrosión en oleoductos. Página de internet: http://bibliotecadigital.ilce.edu.mx/sites/ciencia/volumen1/ciencia2/09/htm/sec_6.html.
- [3] Biblioteca Digital del Instituto Latinoamericano de la Comunicación Educativa: Problemas de Corrosión en oleoductos. Página de internet: http://bibliotecadigital.ilce.edu.mx/sites/ciencia/volumen1/ciencia2/09/htm/sec_7.html.
- [4] Nervión: métodos para controlar la corrosión. Página de internet: <http://www.nervion.com.mx/web/conocimientos/anticorrosivos.php> [consulta 2011-08-01]
- [5] Efectos de la corrosión en la industria petrolera. Página de internet: <http://alexislmd.blogspot.com/2010/04/corrosion-en-la-industria-petrolera.html> [consulta: 2011-09-05]
- [6] AGUILAR CRUZ, Mariela, SANDOVAL NUÑEZ Ana y DIAZ DE LA VEGA Rodrigo. CORROSION EN TUBERIAS Y ESTRUCTURAS METALICAS EN EL MEDIO PETROLERO. Trabajo de grado. Instituto Politécnico Nacional Escuela Superior de Ingeniería y Arquitectura Unidad Ticoman Ciencias de la Tierra.
- [7] HERNANDEZ MARQUEZ, Joaquín Salvador. MONITOREO DE LA PROTECCIÓN CATÓDICA A LÍNEA SUBMARINA NO. 161 DE 36"Ø REBOMBEO/DOS BOCAS DE LA REGIÓN MARINA SUROESTE EN LA SONDA DE CAMPECHE. Cholula, Puebla, 2002. Tesis Profesional (Maestría en gerencia de proyectos de ductos). Universidad de las Américas Puebla.
- [8] Resultados al utilizar inhibidores de la corrosión. Página de internet: <http://spanish.alibaba.com/product-tp/acid-corrosion-inhibitor-corrosion-inhibitor-basic-organic-chemicals-110639272.html> [consulta: 2011-09-05]
- [9] Reporte Técnico CIMCOOL. Milacron Mexicana Sales, S.A. de C.V. | División CIMCOOL® | Querétaro, Qro. México.

[10] transmisor de nivel radioactivo. Medidores de nivel. Pagina de internet: <http://proton.ucting.udg.mx/dpto/maestros/mateos/clase/teoria/nivel/radio.htm> [consultado: 2011-09-06]

[11] transmisor de nivel de conductividad. Sensores de nivel. Pagina de internet: <http://snsosresdenivel.blogspot.com/2009/05/sensores-de-nivel.html> [consulta:2011-09-06]

[12] Departamento de diseño mecanico. Instrumentacion industrial. Sensor de nivel. Página de internet: http://www.fing.edu.uy/iimpi/academica/grado/instindustrial/teorico/080306-Sensores-parte_IV.nivel.pdf [consulta: 2011-09-07]

[13] Transmisor de nivel de flotador. Sensor de nivel tipo flotador. Pagina de internet: <http://en.fafnir.de/products/subcat.php?lang=es&id=2> [consulta: 2011-09-07]

[14] Conexión del sensor ultrasónico. Página de internet: http://files.pepperl-fuchs.com/selector_files/navi/productInfo/edb/127351_eng.pdf [consulta: 2011-09-07]

[15] SANDOVAL RODRIGUEZ, José Mauricio. IMPLEMENTACIÓN DE SISTEMA SCADA PARA EL CONTROL Y SUPERVISIÓN DE UN PROTOTIPO DE LABORATORIO DESARROLLADO EN LA CORPORACIÓN PARA LA INVESTIGACIÓN DE LA CORROSIÓN. Bucaramanga, 2011. Trabajo de grado (ingeniero electrónico). Universidad Pontificia Bolivariana. Seccional Bucaramanga. Facultad de Ingeniería Electrónica.

[16] Diferentes tipos de sensores de nivel. Sensores de nivel. Pagina de internet: <http://mediciondenivelesantech.blogspot.com/2008/12/medidores-de-nivel-de-liquidos.html> [consulta 2011-09-07]

[17] Tranmisor de nivel tipo radar. Sensor de nivel de radar. Pagina de inetrnet: <http://snsosresdenivel.blogspot.com/> [consulta:2011-09-07]

[18] Departamento de diseño mecanico. Instrumentacion industrial. Sensor de flujo. Página de internet: http://www.fing.edu.uy/iimpi/academica/grado/instindustrial/teorico/080306-Sensores-parte_I.caudal.pdf [consulta 2011-09-07]

[19] Asiciacion de la Industria Electrica y Electronica Chile. Sensores de flujo. EL ABC DE LA AUTOMATIZACION. Pagina de internet: <http://www.aie.cl/files/file/comites/ca/abc/sensores-de-flujo.pdf> [consulta: 2011-09-07]

- [20]** Medidor de flujo de presión diferencial. Página de internet:
<http://www.koboldmessring.com/es/ar/caudal/prid/8/index.html>.
- [21]** Medidor de flujo de área variable. Página de internet:
<http://spanish.alibaba.com/product-free/variable-area-flowmeters-105385452.html>
- [22]** Medidor de flujo de velocidad. Página de internet:
<http://propifluidos.blogspot.com/2010/10/medidores-de-caudal-y-velocidad.html>
- [23]** Medidor de flujo de tensión inducida. Página de internet:
http://www.investigacion.frc.utn.edu.ar/sensores/Caudal/Principios/Caudal_Sensores.pdf.
- [24]** Medidor de flujo de ultra sonido. Página de internet:
http://www.inele.ufro.cl/apuntes/Instrumentacion_y_Control/Ivan_Velazquez/Catedra/Capitulo%202.2%20Flujo.pdf.
- [25]** clasificación de bombas. Universidad Nacional de ingeniería. Página de internet <http://avdiaz.files.wordpress.com/2008/10/tipos-de-bombas.pdf> [consulta 2011- 09-10]
- [26]** Bomba rotativa. Confibiabilidad en procesos tribológicos. Página de internet:
http://www.sicelub.com/esp/ind_app.php?industria=16 [consulta 2011-09-10]
- [27]** Bomba centrífuga. Solo stock. Página de internet:
<http://www.solostocks.com.co/venta-productos/componentes-mecanicos/otros-componentes-mecanicos/bomba-centrifuga-nowa-307209> [consulta: 2011-09-10]
- [28]** Bomba axial. Direct industry. Página de internet:
<http://www.directindustry.es/prod/weir-minerals/bombas-de-helice-23306-376724.html> [consulta: 2011-09-10]
- [29]** Bomba tipo turbina Bosch. EDISA. Página de internet: <http://www.edisa.com.gt> [consulta 2011-09-11]
- [30]** Prefiltro. Gomenal Página de internet:
<http://www.graphicnomad.id2production.com/work/gomenal/newwebsite/taxonomy/term/1/0?page=2df> [consulta: 2011-09-05].
- [31]** ARIAS JARAMILLO, Juan José y OLARTE SILVA, Leidy Johanna. Instrumentación y Automatización de una maquina extrusora- prensadora para la extracción de aceite de la semilla de algodón. Bucaramanga 2009. 343p. trabajo de grado (ingeniero Electrónico) Universidad Pontificia Bolivariana. Seccional Bucaramanga. Facultad de Ingeniería Electrónica.

[33] Manual de sistema de Automatizacion S7-200. SIEMENS. SIMATIC. Edicion 08-2008.

[34] CHAVARRIA MEZA, Luis Eduardo. SCADA system's & telemetry. Ciudad de México, México. 13 de octubre 2007. Atlantic International University.

[35] Wonderware. Sistemas Scada. Página de internet:
<http://www.wonderware.es/contents/WonderwareHMISCADA.asp> [consultado 2011-09-14]

[37] Código Electrónico Colombiano. NORMA NTC 2050.

[38] Reglamento Técnico de Instalaciones eléctricas – RETIE. Resolución N° 18-1294 de Agosto 06 de 2008.

[39] Manual de normas. técnica para el diseño de pantalla para la visualización de datos. ÁNGEL RUBIO RUIZ [consulta: 2011-09-05].

ANEXOS

ANEXO A. SENSOR DE NIVEL ULTRASONICO
(Remitirse al anexo digital)

ANEXO B. SENSOR DE FLUJO TIPO TURBINA
(Remitirse al anexo digital)

ANEXO C. MOSFET IRF44Z
(Referirse al anexo digital)

ANEXO D. BOMBA TIPO TURBINA
(Referirse al anexo digital)

ANEXO E. SOFTWARE DE PROGRAMACIÓN STEP 7 MICROWIN
(Remitirse al anexo digital)

ANEXO F. MANUAL DE SIEMENS 2008
(Remitirse al anexo digital)

ANEXO G. MANUAL DE CONFIGURACION S7 200
(Remitirse al anexo digital)

ANEXO H. GUIA OPCLINK
(Remitirse al anexo digital)

ANEXO I. P&ID DEL PROCESO
(Remitirse al anexo digital)

ANEXO J. CONFIGURACIÓN OPC-SERVER
(Remitirse al anexo digital)

ANEXO K. CONFIGURACION INTOUCH

(Remitirse al anexo digital)

ANEXO L. PLANO ELÉCTRICO DEL PROCESO
(Remitirse al anexo digital)