

UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO

CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA EN CONTROL Y
AUTOMATISMO

TEMA:

“Implementación de un banco de pruebas de procesos industriales para desarrollar un
scada simulando en tiempo real una estación de bombeo de agua ”

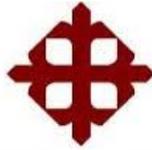
Previa la obtención del Título

INGENIERO EN ELECTRÓNICA EN CONTROL Y AUTOMATISMO

ELABORADO POR:

HÉCTOR OSWALDO GALVIS BOHORQUEZ
LUIS HUMBERTO ZEAS ORDÓÑEZ

GUAYAQUIL, AGOSTO DE 2013



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue realizado en su totalidad por los Sres. Héctor Galvis y Humberto Zeas como requerimiento parcial para la obtención del título de **INGENIERO EN ELECTRÓNICA EN CONTROL Y AUTOMATISMO**

Guayaquil, Agosto de 2013

DIRECTOR

Ing. Oscar Carrasco

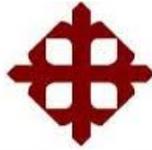
REVISADO POR:

Ing. Luis Pinzón

Ing. Luis Torres

RESPONSABLE ACADÉMICO

Ing. Armando Heras Sánchez



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA EN CONTROL Y AUTOMATISMO

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

HECTOR GALVIS Y HUMBERTO ZEAS

DECLARAN QUE:

El proyecto de grado denominado “Implementación de un banco de pruebas de procesos industriales para desarrollar un scada simulando en tiempo real una estación de bombeo de agua”, ha sido desarrollada con base a una investigación exhaustiva, respetando derechos intelectuales de terceros conforme las citas que constan al pie de las páginas correspondientes, cuyas fuentes se incorporan en la bibliografía. Consecuentemente este trabajo es de nuestra autoría.

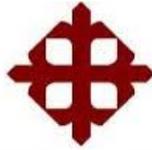
En virtud de esta declaración, nos responsabilizamos del contenido, veracidad y alcance científico del proyecto de grado en mención.

Guayaquil, Agosto de 2013

LOS AUTORES

HÉCTOR GALVIS

HUMBERTO ZEAS



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA EN CONTROL Y AUTOMATISMO

AUTORIZACIÓN

HÉCTOR GALVIS Y HUMBERTO ZEAS

Autorizan a la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, la publicación, en la biblioteca de la institución del proyecto titulado: “Implementación de un banco de pruebas de procesos industriales para desarrollar un scada simulando en tiempo real una estación de bombeo de agua”, cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra exclusiva responsabilidad y autoría.

Guayaquil, Agosto de 2013

LOS AUTORES

HÉCTOR GALVIS

HUMBERTO ZEAS

AGRADECIMIENTO

A Dios, por ser fuente suprema de toda sabiduría y ser la luz y guía de este, nuestro propósito así como la fuerza que inspiró nuestro camino.

A nuestra familia, por ser los pilares fundamentales para alcanzar tan anhelado triunfo, que representa el final de una de las etapas más importantes de nuestras vidas y el inicio de otras que serán aún más enriquecedores.

Por último un agradecimiento especial a las personas que en esta etapa final de formación profesional han colaborado directamente con la supervisión, realización y corrección de este proyecto.

DEDICATORIA

Es justo en estos momentos donde una persona puede darse cuenta que efectivamente han pasado los años, y solo uno mismo decide si estos pasan en vano o son realmente aprovechados.

La Vida trae consigo momentos buenos y no tan buenos, y es ahí donde reconoces a quienes siempre estarán a tu lado para brindarte una mano amiga, es por ello que quiero agradecer a quienes en todo momento han sido nuestro apoyo y guía.

Esta tesis primeramente se la dedicamos con todo nuestro amor y cariño a Dios que nos dio la oportunidad de vivir y de conceder a cada uno de nosotros una familia preciosa.

Adicionalmente dedicamos esta tesis a nuestros padres quienes siempre confiaron en nosotros ciegamente son y serán nuestra guía en todo momento gracias por apoyarnos en todos nuestros proyectos y por ser nuestros mejores amigos.

A nuestras esposas e hijos por estar siempre a nuestro lado todos estos años y confiar en nosotros y por todo el apoyo que me nos han brindado, gracias por enseñarnos el amor a Dios y por ser unas personas muy especiales.

**HÈCTOR GALVIS
Y
HUMBERTO ZEAS**

RESUMEN

Hoy en día en las universidades se implementan bancos de pruebas y control automatizados con computadoras, además de ser una solución ideal cuando se trata de tener un sistema SCADA de bajo costo, también se lo realiza con la finalidad de completar el conocimiento e impartir una enseñanza práctica en los laboratorios y que adicionalmente permiten realizar evaluaciones previas de las condiciones de calidad de una parte de un ensamble de magnitudes reales.

La metodología utilizada en esta tesis es la de investigación acción; luego de diagnosticar que hacía falta un mecanismo para integrar saberes teóricos y prácticos a escala pequeña, se planeó la elaboración de un banco de pruebas, compuesto por un sistema de almacenamiento, supervisión, control y adquisición de datos, y también mediante un controlador lógico programable PLC que controla todas las variables que intervienen en el sistema de bombeo utilizando como fluido de estudio el agua; una vez construido se sometió a pruebas para evaluar su funcionamiento, obteniendo en lo concreto o sistematizado un banco de prueba apto de manera práctico y experimental que fortalecerá los conocimientos cognitivos del estudiante en el manejo de las herramientas y componentes del equipo permitiéndole una excelente posibilidad de familiarizarse con estos dispositivos.

ABSTRACT

Today in universities test benches are implemented and automated control with computers, and they are an ideal solution when it comes to having a low cost SCADA system also is done in order to complete the knowledge and provide education practice in laboratories and additionally allow previous evaluations of the quality conditions of a part of an ensemble of real quantities.

The methodology used in this thesis investigation is the action, after diagnosing that a mechanism was needed to integrate theoretical and practical knowledge to small-scale, planned the development of a test bed, comprised of a storage system, monitoring, control and data acquisition, and also by a programmable logic controller PLC that controls all the variables involved in the system as a fluid pump using water study, once built was tested to evaluate their performance, getting in the concrete or systematized a test fit of experimental and practical way that will strengthen student's cognitive the knowledge in handling tools and equipment components allowing an excellent opportunity to become familiar with these devices.

INTRODUCCIÓN

El agua es necesaria para la vida del hombre, los animales y las plantas. Es parte importante de la riqueza de un país; por eso debemos aprender a no desperdiciarla. Todos sabemos que el agua es indispensable para la vida y que si dejáramos de tomarla moriríamos en pocos días.

Adicionalmente utilizamos el agua en casi todas nuestras acciones, para preparar alimentos, lavar ropa o trastes, aseo personal, riego de cultivos, cría de animales, fabricación de productos, producción de energía, etc.

Al ser el agua potable un líquido indispensable para nuestra vida y que no se la puede desperdiciar, se propone implementar un banco de pruebas de procesos industriales conjuntamente con un sistema de control y supervisión para simular en tiempo real una estación de bombeo de agua, esto ayudará a conocer por que la importancia de estaciones de bombeo en las industrias y su uso muy extendido en varios campos de la Ingeniería, el realizar este banco de pruebas automatizado dejan en el pasado los sistemas de controles convencionales que solo eran activados con relés y contactores.

El objetivo principal de esta tesis es contribuir a la formación práctica del estudiante a fin de que conozca el funcionamiento en conjunto de todo el sistema, lo automático que puede ser el encendido y apagado de la estación de bombeo, los registros de operación y producción del bombeo del agua, los diferentes componentes que intervienen como la bomba de agua, los PLC de última generación y la pantalla de visualización de la información, además de los cambios que experimentan las diferentes variables con respecto al agua como son la temperatura, presión, nivel y caudal del agua.

ANTECEDENTES

Actualmente muchas industrias a nivel nacional están invirtiendo gran cantidad de dinero para lograr la automatización de los distintos procesos que se llevan a cabo en sus fábricas, esto con la finalidad de mejorar y aprovechar el tiempo y del personal al no someterlos a tareas exhaustivas que pueda llevar a cabo un sistema automatizado, lográndose además un aumento en la seguridad industrial.

Los procesos industriales exigen el control de la fabricación de los diversos productos obtenidos. Los procesos son muy variados y abarcan muchos tipos de productos: la fabricación de los productos derivados del petróleo, de los productos alimenticios, estaciones de bombeo de agua, etc.

En todos estos procesos es absolutamente necesario controlar y mantener constante algunas magnitudes, tales como la presión, el caudal, el nivel, la temperatura, el Ph, la conductividad, la velocidad la humedad, etc. Los instrumentos de medición y control permiten el mantenimiento y la regulación de estas constantes en condiciones más idóneas que las que el propio operador podría realizar.

En los inicios de la era industrial, el operador llevaba un control manual de estas variables utilizando instrumentos simples del momento como los manómetros, termómetros, válvulas manuales etc. Control que en esos momentos era suficiente por lo simple que eran los procesos en esos tiempos. Sin embargo la gradual complejidad con que estos se han ido desarrollando ha exigido su automatización progresiva por medio de los instrumentos de medición y control. Estos instrumentos han ido liberando al operario de su función de la labor física directa en la planta y al mismo tiempo le han permitido realizar una labor de supervisión, y de vigilancia de los procesos desde centros de control situados en los propios procesos o bien en departamentos aislados y separados; así mismo gracias a estos

instrumentos ha sido posible elaborar productos complejos en condiciones estables de calidad y de características, condiciones que en la actualidad a un operario se le haría muy difícil efectuarla con solo una labor de control manual.

ÍNDICE DE GENERAL

| | |
|--|----|
| CAPITULO 1..... | 25 |
| 1. ASPECTOS GENERALES DEL ESTUDIO | 25 |
| 1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA..... | 25 |
| 1.1.1. <i>Delimitación del problema</i> | 25 |
| 1.2. JUSTIFICACIÓN | 25 |
| 1.3. OBJETIVOS..... | 26 |
| 1.3.1. <i>Objetivo General</i> | 26 |
| 1.3.2. <i>Objetivos Específicos</i> | 26 |
| 1.4. HIPÓTESIS..... | 27 |
| CAPITULO 2..... | 27 |
| 2. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA | 27 |
| 2.1. CONCEPTOS BÁSICOS..... | 27 |
| 2.1.1. <i>Definición de Implementación</i> | 27 |
| 2.1.2. <i>Definición de Diseño</i> | 28 |
| 2.1.4. <i>Bancos de Pruebas</i> | 29 |
| 2.1.5. <i>Sistemas de automatización</i> | 30 |
| 2.1.6. <i>Accionamientos y Simulación.</i> | 31 |
| 2.1.7. <i>Simulación en Tiempo Real.</i> | 31 |
| 2.1.8. <i>Estaciones de bombeo definición</i> | 33 |
| 2.2. INSTRUMENTACION INDUSTRIAL..... | 33 |
| 2.2.1. <i>Introducción</i> | 34 |
| 2.2.2. <i>Definiciones en control</i> | 35 |
| 2.2.3. <i>Campo de medida (range)</i> | 36 |
| 2.2.4. <i>Alcance (span)</i> | 36 |
| 2.2.5. <i>Error</i> | 36 |
| 2.2.6. <i>Incertidumbre de la medida (uncertainty)</i> | 37 |
| 2.2.7. <i>Zona muerta (dead zone o dead band)</i> | 38 |
| 2.2.8. <i>Sensibilidad (sensitivity)</i> | 38 |

| | | |
|----------|---|-----|
| 2.2.9. | <i>Repetibilidad (repeatability)</i> | 38 |
| 2.2.10. | <i>Histéresis (histéresis)</i> | 39 |
| 2.2.11. | <i>Clases de instrumentos</i> | 39 |
| 2.2.12. | <i>Resumen Norma ISA-55.1-84</i> | 42 |
| 2.3. | LOS SISTEMAS DE VISUALIZACIÓN | 52 |
| 2.3.1. | <i>Introducción</i> | 52 |
| 2.3.2. | <i>Evolución de los sistemas de Visualización.</i> | 53 |
| 2.3.3. | <i>El control a Distancia</i> | 55 |
| 2.3.4. | <i>El sistema SCADA</i> | 58 |
| 2.3.4.1. | <i>Objetivos</i> | 59 |
| 2.3.4.2. | <i>Prestaciones de la Herramienta</i> | 61 |
| 2.3.4.3. | <i>Ventajas del sistema scada</i> | 64 |
| 2.3.4.4. | <i>El entorno</i> | 67 |
| 2.3.5. | <i>Arquitectura de un sistema SCADA</i> | 71 |
| 2.3.6. | <i>El Hardware de un sistema SCADA</i> | 73 |
| 2.3.6.1. | <i>El entorno Interface Hombre- Máquina (HMI, MMI)</i> | 75 |
| 2.3.6.2. | <i>Unidad central (MTU, Master Terminal Unit)</i> | 75 |
| 2.3.6.3. | <i>Unidad Remota (RTU, Remote Terminal Unit)</i> | 77 |
| 2.3.6.4. | <i>Sistema de Comunicación</i> | 81 |
| 2.3.7. | <i>El Software de un sistema SCADA</i> | 82 |
| 2.3.7.1. | <i>Comunicación entre Aplicaciones</i> | 84 |
| 2.4. | SISTEMAS DE CONTROL | 88 |
| 2.4.1. | <i>Objetivos del control automático de procesos</i> | 89 |
| 2.4.2. | <i>Sistema de control en lazo abierto y en lazo cerrado</i> | 90 |
| 2.4.3. | <i>Clasificación general de los sistemas de control</i> | 92 |
| 2.4.4. | <i>Acciones básicas de control</i> | 93 |
| 2.5. | MOTORES DE CORRIENTE ALTERNA | 94 |
| 2.5.1. | <i>Introducción a las máquinas asíncronas de inducción</i> | 94 |
| 2.5.2. | <i>Motores de rotor de jaula de ardilla</i> | 98 |
| 2.5.3. | <i>Motores de rotor de anillos rozantes</i> | 100 |

| | | |
|-------------------------|---|------------|
| 2.5.4. | <i>Conexión de los bobinados de un motor eléctrico trifásico</i> | 101 |
| 2.5.5. | <i>Placa de características de un motor trifásico</i> | 102 |
| 2.6. | VARIADOR DE FRECUENCIA | 104 |
| 2.6.1. | <i>Conceptos y definiciones básicas</i> | 104 |
| 2.6.2. | <i>Aplicaciones de los variadores de frecuencia</i> | 105 |
| 2.6.3. | <i>Funciones de los variadores de frecuencia</i> | 107 |
| 2.6.4. | <i>Principales tipos de variadores de Frecuencia</i> | 108 |
| CAPÍTULO 3 | | 109 |
| 3. | METODOLOGIA | 109 |
| 3.1. | GUÍA DEL DISEÑO Y MODALIDAD DE LA INVESTIGACIÓN | 109 |
| 3.2. | JUSTIFICACIÓN DE LA ELECCIÓN DEL MÉTODO | 110 |
| 3.3. | CONSIDERACIONES DEL DISEÑO | 110 |
| 3.4. | REPRESENTACIÓN ESQUEMATIZADA DEL DISEÑO DEL BANCO DE PRUEBAS | 110 |
| 3.5. | ARQUITECTURA DEL MODULO DEL BANCO DE PRUEBAS | 111 |
| 3.6. | DISEÑO DEL MODULO DIDACTICO | 112 |
| 3.6.1. | ESQUEMA DEL MODULO DIDACTICO | 114 |
| 3.6.2. | SISTEMA MECANICO | 115 |
| 3.6.2.1. | Estructura Mecánica | 116 |
| 3.6.2.2. | Sistema Hidráulico | 116 |
| 3.6.2.2.1. | Selección de los sensores | 118 |
| 3.6.2.2.2. | Montaje del sensor SITRANS FM MAG 5100 | 118 |
| 3.6.2.2.3. | Conexión del sensor hacia el proceso | 119 |
| 3.6.2.2.4. | Determinación del tipo de material | 121 |
| 3.6.2.2.5. | Determinación de la ubicación | 121 |
| 3.6.2.2.6. | Condiciones de entrada y salida | 122 |
| 3.6.2.2.7. | Construcción de las tuberías | 122 |
| 3.6.2.2.8. | Construcción del tanque del proceso | 124 |
| 3.6.2.2.9. | Construcción del tanque reservorio | 126 |
| 3.6.2.2.10. | Construcción de la estructura | 128 |
| 3.6.2.2.11. | Selección de la bomba centrífuga | 129 |

| | |
|--|------------|
| 3.6.2.2.12. Montaje de la bomba centrífuga | 130 |
| 3.7. SISTEMA ELECTRICO | 131 |
| 3.7.1. Implementación del tablero de distribución | 131 |
| 3.8. SISTEMA ELECTRÒNICO | 133 |
| 3.8.1. Instrumentación y control | 134 |
| 3.8.1.1. Equipos de Instrumentación | 135 |
| 3.8.1.1.1. Sensor de caudal FIT..... | 135 |
| 3.8.1.1.2. Transmisor de Caudal..... | 138 |
| 3.8.1.1.3. Sensor de nivel LIT..... | 142 |
| 3.8.1.1.4. Sensor de presión PIT..... | 145 |
| 3.8.1.1.5. Sensor de temperatura TIT. | 148 |
| 3.8.1.1.6. PLC SIEMENS S7 – 300 | 152 |
| 3.8.1.1.7. Módulo de entrada analógica 4 – 20 mA modelo SM331 AI8X12BIT # de referencia 331-7KF02-0AB0. | 154 |
| 3.8.1.1.8. Variador de frecuencia siemens micro máster 440 | 157 |
| 3.8.1.1.9. Interface HMI | 160 |
| 3.8.1.1.10. Sistema Eléctrico | 163 |
| 3.8.1.1.11. Protecciones..... | 164 |
| 3.8.1.1.12. Cortocircuito..... | 165 |
| 3.8.1.1.13. Fuente de Alimentación 24 vdc. | 165 |
| 3.8.1.1.14. Alambrado..... | 166 |
| 3.8.1.1.15. Alambrado de Instrumentación..... | 166 |
| 3.8.1.1.16. Gabinete eléctrico | 167 |
| CAPITULO 4..... | 171 |
| 4. ANÀLISIS DE RESULTADOS DEL FUNCIONAMIENTO DEL BANCO DE PRUEBAS..... | 171 |
| 4.1. DESARROLLO DEL SOFTWARE DE SOPORTE..... | 171 |
| 4.2. DEFINICIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL..... | 171 |
| 4.3. DEFINICIÓN DE LAS ACCIONES DE CONTROL | 172 |
| 4.4. DESCRIPCIÓN DEL SOFTWARE STEP 7 BASIC..... | 173 |
| 4.5. DESARROLLO DEL PROGRAMA PARA EJECUTAR LAS ACCIONES DE CONTROL DEL MÒDULO | 176 |

| | | |
|---------|---|-----|
| 4.5.1. | <i>Acciones de control del módulo preparación para la programación del PLC s7-300</i> | 176 |
| 4.5.2. | <i>Descripción del programa Bloques de organización OB</i> | 177 |
| 4.5.3. | <i>OB1 Ejecución cíclica</i> | 177 |
| 4.5.4. | <i>OB35 OBs de alarma cíclica (OB 30 hasta OB 38)</i> | 178 |
| 4.5.5. | <i>OB80 OB de error de tiempo</i> | 178 |
| 4.5.6. | <i>OB121 OB de error de programación</i> | 178 |
| 4.5.7. | <i>OB122 OB de error de acceso a la periferia</i> | 178 |
| 4.5.8. | <i>Bloque de funciones FB</i> | 179 |
| 4.5.9. | <i>FB41 Regulación continua con el SFB 41/FB 41 "CONT_C"</i> | 179 |
| 4.5.10. | <i>Funciones</i> | 180 |
| 4.5.11. | <i>FC1 Instrumentación</i> | 181 |
| 4.5.12. | <i>FC2 Alarmas</i> | 181 |
| 4.5.13. | <i>FC5 Entradas analógicas V/I</i> | 182 |
| 4.5.14. | <i>FC105 Scale</i> | 182 |
| 4.5.15. | <i>FC106 Unscale</i> | 182 |
| 4.5.16. | <i>DB Bloque de datos</i> | 182 |
| 4.5.17. | <i>DB1 datos del sensor</i> | 182 |
| 4.5.18. | <i>DB2 datos PID</i> | 182 |
| 4.5.19. | <i>DB3 Calibración</i> | 183 |
| 4.5.20. | <i>DB4 Alarmas</i> | 183 |
| 4.5.21. | <i>Definición del algoritmo de control</i> | 183 |
| 4.5.22. | <i>Rutina para el control del modo automático</i> | 184 |
| 4.6. | RUTINA PARA DEL TRANSMISOR DE FLUJO | 185 |
| 4.7. | ESCALAMIENTO DE LA SEÑAL DEL TRANSMISOR | 186 |
| 4.8. | DESARROLLO DEL PROGRAMA PARA IMPLEMENTACIÒN DEL HMI EN LA PANTALLA TÀCTIL | 188 |
| 4.8.1. | <i>Configuración del hardware de la HMI</i> | 189 |
| 4.8.2. | <i>Diseño de una pantalla del HMI en la pantalla táctil</i> | 190 |
| 4.9. | PRUEBAS DE LA INSTRUMENTACION Y DEL PROCESO | 192 |
| 4.10. | PRUEBA MANUAL DEL VARIADOR DE FRECUENCIA | 192 |
| 4.11. | PRUEBAS DEL TRANSMISOR DE TEMPERATURA | 199 |

| | | |
|---|---|------------|
| 4.12. | PRUEBAS DEL TRANSMISOR DE PRESION | 205 |
| 4.13. | PRUEBAS DEL TRANSMISOR DE NIVEL..... | 210 |
| 4.14. | PRUEBAS DEL TRANSMISOR DE CAUDAL ELECTROMAGNETICO | 215 |
| 4.15. | PRUEBAS DEL PROCESO EN FORMA LIBRE..... | 218 |
| 4.16. | PRUEBA DEL PROCESO CON INTERFERENCIA | 222 |
| CAPITULO 5..... | | 226 |
| 5. | CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES | 226 |
| 5.1. | CONCLUSIONES..... | 226 |
| 5.2. | RECOMENDACIONES..... | 227 |
| ANEXO 1: PRESUPUESTO..... | | 228 |
| ANEXO 2: CARACTERISTICAS DELVARIADOR DE FRECUENCIA MICROMASTER 440..... | | 230 |
| ANEXO 3: SIMBOLOGIA ISA | | 231 |
| ANEXO 4: TANQUE DEL PROCESO | | 232 |
| ANEXO 5: TANQUE RESERVORIO | | 233 |
| ANEXO:6 TUBERIA DEL PROCESO | | 234 |
| ANEXO 7: ESTRUCTURA METALICA | | 235 |
| ANEXO 9: ESTRUCTURA Y DISPOSICION DE LOS TANQUES..... | | 236 |
| ANEXO 10: ESQUEMA ELECTRICO DEL PANEL | | 237 |
| ANEXO 11: CONEXIONES DESDE EL PANEL HACIA EL PLC..... | | 238 |
| REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA | | 239 |

INDICE DE FIGURAS

| | |
|---|-----|
| <i>Figura # 2. 1: Bucle abierto de regulación</i> | 35 |
| <i>Figura # 2. 2: Bucle cerrado de regulación</i> | 35 |
| <i>Figura # 2. 3: Controles industriales para automatización</i> | 40 |
| <i>Figura # 2. 4: Clases de instrumentos.</i> | 42 |
| <i>Figura # 2. 5: Clases de presión</i> | 45 |
| <i>Figura # 2. 6: Medidor magnético de caudal</i> | 48 |
| <i>Figura # 2. 7: Transductor ultrasónico de nivel.</i> | 51 |
| <i>Figura # 2. 8: Multiplexado aplicado a un bus de campo.</i> | 57 |
| <i>Figura # 2. 9: Línea de extrusionado (realizado con WinCC, Siemens)</i> | 64 |
| <i>Figura # 2. 10: Principio de Redundancia</i> | 68 |
| <i>Figura # 2. 11: Conectividad al nivel de Empresa con WinCC (Siemens).</i> | 70 |
| <i>Figura # 2. 12: Estructura básica de un sistema de supervisión y mando.</i> | 72 |
| <i>Figura # 2. 13: Idea básica de Sistema Scada.</i> | 73 |
| <i>Figura # 2. 14: Scada, arquitectura básica de hardware.</i> | 74 |
| <i>Figura # 2. 15: Arquitectura general de una RTU.</i> | 80 |
| <i>Figura # 2. 16: Concepto de driver, o controlador.</i> | 83 |
| <i>Figura # 2. 17: Arquitectura general de software.</i> | 84 |
| <i>Figura # 2. 18: Diagrama de bloques de un sistema de lazo abierto</i> | 90 |
| <i>Figura # 2. 19: Diagrama de Bloques de un sistema de control de lazos cerrado</i> | 91 |
| <i>Figura # 2. 20: Diagrama en bloque de un control PID</i> | 94 |
| <i>Figura # 2. 21: Partes de los motores asíncronos</i> | 95 |
| <i>Figura # 2. 22: Campo magnético giratorio creado por una corriente alterna trifásica</i> | 97 |
| <i>Figura # 2. 23: Rotor jaula de ardilla</i> | 99 |
| <i>Figura # 2. 24: Rotor de anillos rozantes</i> | 100 |
| <i>Figura # 2. 25: Rotor de anillos rozantes</i> | 100 |

| | |
|---|------------|
| <i>Figura # 2. 26: Conexión de los bobinados de un motor eléctrico trifásico</i> | <i>101</i> |
| <i>Figura # 2. 27: Conexión para cambiar el giro del motor</i> | <i>102</i> |
| <i>Figura # 2. 28: Placa característica de un motor trifásico</i> | <i>102</i> |
| <i>Figura # 2. 29: Diagrama en Bloque de un Variador.</i> | <i>104</i> |
| <i>Figura # 3. 1 : Esquema gráfico del diseño del banco de pruebas.....</i> | <i>111</i> |
| <i>Figura # 3. 2: Arquitectura del banco de prueba</i> | <i>112</i> |
| <i>Figura # 3. 3: Sistemas que forman parte del equipo didáctico</i> | <i>113</i> |
| <i>Figura # 3. 4: Esquema del Módulo Didáctico</i> | <i>115</i> |
| <i>Figura # 3. 5: Sistema Mecánico.....</i> | <i>116</i> |
| <i>Figura # 3. 6: Estructura Mecánica del módulo didáctico</i> | <i>116</i> |
| <i>Figura # 3. 7: Brida clase 150.....</i> | <i>120</i> |
| <i>Figura # 3. 8: Forma correcta de montar el sensor.....</i> | <i>121</i> |
| <i>Figura # 3. 9: Dimensiones mínimas de los tubos rectos</i> | <i>122</i> |
| <i>Figura # 3. 10: Montaje del flujómetro y de las tuberías.....</i> | <i>123</i> |
| <i>Figura # 3. 11: Muestra la forma correcta de ubicar el sensor de nivel</i> | <i>124</i> |
| <i>Figura # 3. 12: Dimensiones del tanque del proceso</i> | <i>125</i> |
| <i>Figura # 3. 13: muestra las dimensiones y la forma del tanque</i> | <i>127</i> |
| <i>Figura # 3. 14: Estructura del módulo</i> | <i>128</i> |
| <i>Figura # 3. 15: Bomba centrífuga WEG de 40 GPM.....</i> | <i>129</i> |
| <i>Figura # 3. 16: datos de placa del motor WEG de ½ hp.....</i> | <i>130</i> |
| <i>Figura # 3. 17: Datos de placa de la bomba centrífuga THEBE</i> | <i>130</i> |
| <i>Figura # 3. 18: fuente de poder SOLA SDN 2.5-24-100P</i> | <i>132</i> |
| <i>Figura # 3. 19: Muestra el panel con sus componentes y totalmente cableado.....</i> | <i>133</i> |
| <i>Figura # 3. 20: Sistema Electrónico.....</i> | <i>134</i> |
| <i>Figura # 3. 21: Diagrama P&D.....</i> | <i>134</i> |
| <i>Figura # 3. 22: Sensor de caudal electromagnético.....</i> | <i>135</i> |
| <i>Figura # 3. 23: Siemens sitrans fm mag 5100 w</i> | <i>137</i> |
| <i>Figura # 3. 24: Conexión de los cables de alimentación y tierra en el sensor de caudal.</i> | <i>141</i> |

| | |
|--|------------|
| <i>Figura # 3. 25: Conexión de cables de salida en el sensor de caudal.....</i> | <i>141</i> |
| <i>Figura # 3. 26: Conexión de cables del sensor a los electrodos.</i> | <i>141</i> |
| <i>Figura # 3. 27: Sensor de Presión.....</i> | <i>145</i> |
| <i>Figura # 3. 28: Instalación del transmisor de presión.....</i> | <i>147</i> |
| <i>Figura # 3. 29: PLC Siemens S7-300.....</i> | <i>152</i> |
| <i>Figura # 3. 30: Procesador 315F-2.....</i> | <i>153</i> |
| <i>Figura # 3. 31: Módulo modelo SM331</i> | <i>154</i> |
| <i>Figura # 3. 32: Módulo SM 334; AI 4/AO 2 x 8/8 Bit.....</i> | <i>156</i> |
| <i>Figura # 3. 33: Variador de frecuencia 440.....</i> | <i>157</i> |
| <i>Figura # 3. 34: Panel BOP</i> | <i>159</i> |
| <i>Figura # 3. 35: Interface HMI OP177B.....</i> | <i>160</i> |
| <i>Figura # 3. 36: Panel Operador OP177B.....</i> | <i>161</i> |
| <i>Figura # 3. 37: Arquitectura de la pantalla HMI.....</i> | <i>162</i> |
| <i>Figura # 3. 38: HMI panel operador.</i> | <i>162</i> |
| <i>Figura # 3. 39: Subsistemas del sistema Eléctrico</i> | <i>164</i> |
| <i>Figura # 3. 40: Gabinete Eléctrico.....</i> | <i>168</i> |
| <i>Figura # 3. 41: Esquema Eléctrico del Panel y el Banco de Pruebas</i> | <i>169</i> |
| <i>Figura # 3. 42: Conexión eléctrica desde el panel del banco hacia el PLC y variador</i> | <i>170</i> |
| <i>Figura # 4. 1: Pantalla inicio, crear nuevo proyecto</i> | <i>173</i> |
| <i>Figura # 4. 2: Configuración del SIMATIC 300</i> | <i>174</i> |
| <i>Figura # 4. 3: Pantalla agregar dispositivos</i> | <i>175</i> |
| <i>Figura # 4. 4 : Dirección IP del PLC.....</i> | <i>176</i> |
| <i>Figura # 4. 5: Bloque de control PID SFB 41/FB 41 "CONT_C"</i> | <i>179</i> |
| <i>Figura # 4.6: Bloques de funciones programables.....</i> | <i>180</i> |
| <i>Figura # 4.7: Pantalla CFI instrumentación</i> | <i>181</i> |
| <i>Figura # 4. 8: Secuencia general del algoritmo de control</i> | <i>184</i> |
| <i>Figura # 4. 9: Escalamiento señal transmisor de flujo</i> | <i>186</i> |
| <i>Figura # 4. 10: Escalamiento de la señal de 4 a 20ma</i> | <i>186</i> |

| | |
|---|------------|
| <i>Figura # 4.11: Pantalla táctil</i> | <i>188</i> |
| <i>Figura # 4. 12: Eligiendo Hardware del HMI disponible</i> | <i>189</i> |
| <i>Figura # 4. 13: Configuración de la conexión entre el PLC y el panel de operador.....</i> | <i>190</i> |
| <i>Figura # 4. 14: Pantalla HMI.....</i> | <i>191</i> |
| <i>Figura # 4. 15: Pantalla HMI.....</i> | <i>191</i> |
| <i>Figura # 4. 16: Panel de Frecuencia de 40hz.....</i> | <i>193</i> |
| <i>Figura # 4. 17: Panel del Variador con salida de frecuencia de 39.59hz</i> | <i>193</i> |
| <i>Figura # 4. 18: Módulo de funciones FC5 con tendencia de flujo de 5.8M3/h.....</i> | <i>194</i> |
| <i>Figura # 4. 19: Panel de frecuencia.....</i> | <i>194</i> |
| <i>Figura # 4. 20: Panel del Variador</i> | <i>195</i> |
| <i>Figura # 4. 21: Módulos de funciones FC5 con tendencia de flujo de 7.5M3/h</i> | <i>195</i> |
| <i>Figura # 4. 22: Panel de Frecuencia de 60hz.....</i> | <i>196</i> |
| <i>Figura # 4. 23: Panel del Variador con salida de frecuencia de 59.88hz</i> | <i>196</i> |
| <i>Figura # 4. 24: Módulo de funciones FC5 con tendencia de flujo de 8.9M3/h.....</i> | <i>197</i> |
| <i>Figura # 4. 25: Medición de la señal de corriente con el fluke 756.....</i> | <i>197</i> |
| <i>Figura # 4. 26: Respuesta del variador en frecuencia de salida.....</i> | <i>198</i> |
| <i>Figura # 4. 27: Panel de lectura de la temperatura</i> | <i>199</i> |
| <i>Figura # 4. 28: Lectura de la temperatura con el Fluke 756</i> | <i>200</i> |
| <i>Figura # 4. 29: Módulo de funciones FC5 midiendo la entrada de datos de temperatura</i> | <i>200</i> |
| <i>Figura # 4. 30: Lectura de Temperatura 50c.....</i> | <i>201</i> |
| <i>Figura # 4. 31: Lectura de la temperatura de 50c con el fluke 756</i> | <i>201</i> |
| <i>Figura # 4. 32: Módulo de funciones FC5 midiendo la entrada de datos de temperatura de 50C</i> | <i>202</i> |
| <i>Figura # 4. 33: Lectura de Temperatura 75c.....</i> | <i>202</i> |
| <i>Figura # 4. 34: Lectura de la temperatura de 75c con el fluke 756</i> | <i>203</i> |
| <i>Figura # 4. 35: Módulo de funciones FC5 midiendo la entrada de datos de temperatura de 75C</i> | <i>203</i> |
| <i>Figura # 4. 36: Respuesta del transmisor de temperatura en función de la corriente.....</i> | <i>204</i> |
| <i>Figura # 4. 37: Panel de lectura de la presión de 2.5 BAR</i> | <i>205</i> |
| <i>Figura # 4. 38: Medición de la presión de 2.5 BAR con el fluke 756</i> | <i>205</i> |

| | |
|---|------------|
| <i>Figura # 4. 39: Módulo FC5 midiendo la entrada de datos de la presión de 2.5 BAR.....</i> | <i>206</i> |
| <i>Figura # 4. 40: Panel de lectura de la presión de 5.03 BAR</i> | <i>206</i> |
| <i>Figura # 4. 41: Medición de la presión de 5 BAR con el fluke 756</i> | <i>207</i> |
| <i>Figura # 4. 42: Módulo FC5 midiendo la entrada de datos de la presión de 5 BAR.....</i> | <i>207</i> |
| <i>Figura # 4. 43: Panel de lectura de la presión de 10 BAR</i> | <i>208</i> |
| <i>Figura # 4. 44: Medición de la presión de 10 BAR con el fluke 756</i> | <i>208</i> |
| <i>Figura # 4. 45: Módulo FC5 midiendo la entrada de datos de la presión de 10 BAR.....</i> | <i>209</i> |
| <i>Figura # 4. 46: Respuesta del transmisor de temperatura en función de la corriente.....</i> | <i>210</i> |
| <i>Figura # 4. 47: Panel de lectura de nivel de 15cm</i> | <i>211</i> |
| <i>Figura # 4. 48: Medición de nivel de 15cm con el fluke 756</i> | <i>211</i> |
| <i>Figura # 4. 49: Módulo FC5 midiendo la entrada de datos de nivel de 15.1 cm.....</i> | <i>212</i> |
| <i>Figura # 4. 50: Panel de lectura de nivel de 15cm</i> | <i>212</i> |
| <i>Figura # 4. 51: Medición de nivel de 30cm con el fluke 756</i> | <i>213</i> |
| <i>Figura # 4. 52: Módulo FC5 midiendo la entrada de datos de nivel de 30 cm.....</i> | <i>213</i> |
| <i>Figura # 4. 53: Módulo FC5 midiendo la entrada de datos de nivel de 60 cm.....</i> | <i>214</i> |
| <i>Figura # 4. 54: Respuesta del transmisor de nivel en función de la corriente.</i> | <i>215</i> |
| <i>Figura # 4. 55: Módulo FC5 midiendo la entrada de datos de la medida de caudal 15 m³/h.....</i> | <i>216</i> |
| <i>Figura # 4. 56: Módulo FC5 midiendo la entrada de datos de la medida de caudal 20 m³/h.....</i> | <i>217</i> |
| <i>Figura # 4. 57: Respuesta del transmisor de caudal en función de la corriente.</i> | <i>218</i> |
| <i>Figura # 4. 58: Módulo FC5 midiendo la entrada de datos medición del flujometro que es de 3m³/h.....</i> | <i>219</i> |
| <i>Figura # 4. 59: Módulo FC5 midiendo la entrada de datos medición del flujometro que es de 4m³/h</i> | <i>220</i> |
| <i>Figura # 4. 60: Módulo FC5 midiendo la entrada de datos medición del flujometro que es de 7m³/h</i> | <i>221</i> |
| <i>Figura # 4. 61: Módulo FC5 midiendo la entrada de datos medición del flujometro que es de 8m³/h.....</i> | <i>222</i> |
| <i>Figura # 4. 62: Módulo FC5 midiendo interferencia con set point de 5m³/h.....</i> | <i>223</i> |
| <i>Figura # 4. 63: Respuesta del transmisor de caudal y frecuencia.....</i> | <i>224</i> |
| <i>Figura # 4. 64: tendencia de la frecuencia con respecto a la valvula</i> | <i>225</i> |

INDICE DE TABLAS

| | |
|---|-----|
| <i>Tabla # 2. 1: Significados de las letras de identificación</i> | 43 |
| <i>Tabla # 3. 1: Listado de los sensores Seleccionados.</i> | 118 |
| <i>Tabla # 3. 2: Tabla de conexión del sensor hacia el proceso.</i> | 119 |
| <i>Tabla # 3. 3: Materiales para la instalación del tanque.</i> | 126 |
| <i>Tabla # 3. 4: Especificaciones técnicas requeridas para la medición de caudal</i> | 136 |
| <i>Tabla # 3. 5: Características Técnicas del Siemens Sitrans</i> | 137 |
| <i>Tabla # 3. 6: Siemens sitrans fm magflo mag 6000.</i> | 138 |
| <i>Tabla # 3. 8: Pasos para la conexión del medidor y transmisor de caudal</i> | 140 |
| <i>Tabla # 3. 9: Configuración de los parámetros básicos transmisor de caudal.</i> | 142 |
| <i>Tabla # 3. 10: Especificaciones técnicas requeridas para la medición de nivel</i> | 142 |
| <i>Tabla # 3. 11: Características del Transmisor de Nivel</i> | 143 |
| <i>Tabla # 3. 12: Instalación del transmisor de seguridad</i> | 144 |
| <i>Tabla # 3. 13: Especificaciones técnicas requeridas para la medición de presión</i> | 145 |
| <i>Tabla # 3. 14: Características del Transmisor de Presión.</i> | 146 |
| <i>Tabla # 3. 15: Parametrización del transmisor de presión</i> | 148 |
| <i>Tabla # 3. 16: Características del Transmisor de Temperatura</i> | 149 |
| <i>Tabla # 3. 17: Pasos para la Instalación del Transmisor de temperatura</i> | 150 |
| <i>Tabla # 3. 18: instrucciones de servicio para parametrizar transmisor de temperatura</i> | 151 |
| <i>Tabla # 3. 19: Características del PLC Siemens S7 – 300</i> | 153 |
| <i>Tabla # 3. 20: Características técnicas SM331 AI8X12BIT</i> | 155 |
| <i>Tabla # 3. 21: Características del modulo SM 334; AI 4/AO 2 x 8/8 Bit</i> | 157 |
| <i>Tabla # 3. 22: Ajustes por defecto para funcionamiento mediante panel BOP</i> | 160 |
| <i>Tabla # 3. 23: Características SIMATIC OP177B 6" PN/DP</i> | 161 |
| <i>Tabla # 3. 24: Descripción de las ventanas del HMI</i> | 163 |
| <i>Tabla # 3. 25: Consumo de alimentación de los equipos de 120 - 220 vac</i> | 164 |

| | |
|---|------------|
| <i>Tabla # 3. 26: Rango de voltaje para Protección.....</i> | <i>165</i> |
| <i>Tabla # 3. 27: Consumo de corriente de los dispositivos</i> | <i>165</i> |
| <i>Tabla # 3. 28: Color de acuerdo al voltaje</i> | <i>166</i> |
| <i>Tabla # 3. 29: Cableado del alambrado de instrumentación.....</i> | <i>166</i> |
| <i>Tabla # 3. 30: Parámetro del Gabinete Eléctrico.....</i> | <i>167</i> |
| <i>Tabla # 4. 1: Tabla de mediciones comparando la frecuencia del variador.....</i> | <i>198</i> |
| <i>Tabla # 4. 2: Tabla de mediciones comparando el transmisor de temperatura.</i> | <i>204</i> |
| <i>Tabla # 4. 3: Tabla de mediciones comparando el transmisor de presión.....</i> | <i>209</i> |
| <i>Tabla # 4. 4: Tabla de mediciones comparando el transmisor de nivel.</i> | <i>214</i> |
| <i>Tabla # 4. 5: Tabla de mediciones comparando el transmisor de caudal.....</i> | <i>218</i> |
| <i>Tabla # 4. 6: Tendencia de la frecuencia del variador con respecto al caudal.</i> | <i>223</i> |

CAPITULO 1

1. ASPECTOS GENERALES DEL ESTUDIO

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Actualmente la Facultad de Educación Técnica para el Desarrollo de la Universidad Católica Santiago de Guayaquil cuenta con un laboratorio en el campo de la Electrónica en control y automatismo sin embargo existe la necesidad de complementarlo, implementando y desarrollando bancos de pruebas adicionales que faciliten y ayuden al estudiante a adquirir mayor destreza que fortalezcan sus conocimientos especialmente en el ámbito de los procesos industriales donde no es suficiente conocer solo una marca o fabricante de equipos y programas sino de dominar y tener alternativas de conceptualización de los principios teóricos de los diversos procesos permitiendo la posibilidad de disponer diferentes configuraciones de los múltiples instrumentos de medición como principalmente la comunicación y adquisición de datos a través de un PLC y presentando estos en una pantalla táctil como HMI o como también implementar un sistema SCADA a nivel superior.

1.1.1. Delimitación del problema

De acuerdo a lo indicado anteriormente esta tesis es delimitada de la siguiente manera: Implementar un banco de pruebas de procesos industriales para desarrollar un scada simulando en tiempo real una estación de bombeo de agua para demostrar a través de prácticas simuladas los fundamentos básicos, el aprendizaje y funcionamiento de una estación de bombeo de agua.

1.2. JUSTIFICACIÓN

Se considera importante el trabajo de esta tesis ya que se puede conocer y experimentar sobre procesos industriales que ayuden a controlar y supervisar el

desperdicio que pudiera haber en algún sector de la ciudad o del país del líquido vital como el agua.

Por lo antes mencionado se ha propuesto la construcción de un banco de pruebas de procesos industriales en unión al desarrollo de un programa que permite controlar y supervisar estos procesos industriales, con la finalidad de ampliar la gama de equipos de instrumentación industrial adquiridos por la Universidad Católica y que se encuentran en el laboratorio de Automatización Industrial de la Facultad de Educación Técnica para el Desarrollo, aprovechándolos en conjunto permitirá al estudiante desarrollar sus habilidades prácticas, a través de la interacción con el banco de pruebas de procesos industriales.

1.3. OBJETIVOS

Los objetivos planteados para este proyecto de investigación son los siguientes:

1.3.1. Objetivo General

Elaborar un banco de pruebas de procesos industriales destinado a dar apoyo en las prácticas de laboratorio, profundizando el análisis y el aprendizaje teórico en las materias de INSTRUMENTACION y AUTOMATICA de la Facultad de Educación Técnica para el Desarrollo en la carrera de Electrónica Control y Automatismo.

1.3.2. Objetivos Específicos

1. Diseñar un proceso industrial que muestre el comportamiento de las distintas variables en tiempo real.
2. Implementar un banco de pruebas de procesos industriales que sirva para el desarrollo de futuros procesos con técnicas de control, monitoreo y adquisición de variables tales como: Presión Temperatura, Nivel y Caudal.

3. Describir un sistema SCADA de una estación de bombeo de agua

1.4. HIPÓTESIS

Con la elaboración de un banco de prueba y la interacción del sistema SCADA (Supervisión, Control y Adquisición de Datos) se podrá comprobar un proceso simulando una planta de bombeo de agua y los cambios que experimenten las variables de temperatura, presión, nivel y caudal del agua.

CAPITULO 2

2. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

2.1. CONCEPTOS BÁSICOS

2.1.1. Definición de Implementación¹

Implementación es la realización de una aplicación, instalación o la ejecución de un plan, idea, modelo científico, diseño, especificación, estándar, algoritmo o política. También es la acción y efecto de poner en funcionamiento un determinado equipo.

En la industria, la implementación se refiere al proceso sobre el uso de un software o hardware que ha comprado. Esto incluye el análisis de requisitos, análisis del impacto, optimizaciones, sistemas de integración, política de uso, aprendizaje del usuario, marcha blanca y costes asociados. A menudo todos estos pasos son gestionados y dirigidos por un Director de Proyecto que utiliza metodologías de gestión de proyecto.

¹ Ruiz, O. X. (2007). *Diseño e implementaciòn de un banco de prueba para arranques de motores trifàsicos*. Ambato: Universidad Tècnica de Ambato.

2.1.2. Definición de Diseño

Diseñar es pensar antes de hacer. Analizar, planificar y ejecutar para responder a las necesidades de los usuarios.

El diseño es una herramienta estratégica para la mejora de la competitividad.

Es frecuente entenderlo como una actividad estética, asociada a lo que está de moda. Sin embargo, esto no es suficiente para comprender la magnitud del potencial del diseño como actividad proyectual creativa.

2.1.3. Fases del proceso del diseño

El proceso de diseñar, suele implicar las siguientes fases:

1. **Observar y Analizar** el medio en el cual se desenvuelve, el ser humano descubriendo alguna necesidad.
2. **Planear y Proyectar** proponiendo un modo de solucionar esta necesidad, por medio de planos y maquetas, tratando de descubrir la posibilidad y la viabilidad de las soluciones.
3. **Construir y Ejecutar** llevando a la vida real la idea inicial, por medio de materiales y procesos productivos.

Estos tres actos se van haciendo uno tras otro, y a veces continuamente.

Algunos teóricos del diseño, no ven una jerarquización tan clara, ya que estos actos aparecen una y otra vez en el proceso de diseño.

Hoy por hoy gracias al trabajo del diseñador se puede destacar otro acto fundamental en el proceso:

4. **Evaluar**, ya que es necesario saber cuándo el diseño está finalizado.

Diseñar como acto cultural implica conocer criterios de diseño como:

Presentación, producción, significación, socialización, costos, mercadeo entre otros. Estos criterios son innumerables, pero son contables a medida que el encargo aparece y se define.

2.1.4. Bancos de Pruebas²

Ensayar es un imperativo de la actividad industrial y del progreso tecnológico. Los bancos de ensayo permiten efectuar pruebas racionales y científicas de las máquinas, conociéndose así exactamente sus prestaciones y permitiendo mejorarlas.

Los bancos de ensayo son bienes de equipo imprescindible para:

- Investigación y desarrollo del producto
- Control de calidad de fabricación.
- Homologaciones y certificaciones oficiales.
- Mantenimiento racional de maquinarias.
- Enseñanza y capacitación Técnica.

Ensayar en funcionamiento real y efectuar las correspondientes mediciones es imprescindible para conocer las prestaciones reales de una máquina, poder

² Ruiz, O. X. (2007). *Diseño e implementaciòn de un banco de prueba para arranques de motores trifàsicos*. Ambato: Universidad Tècnica de Ambato.

desarrollarla y mejorarla, controlar su calidad, repararla con garantía y formar técnicos.

2.1.5. Sistemas de automatización.³

La Real Academia de las Ciencias Físicas y Exactas define la automática como el conjunto de métodos y procedimientos para la sustitución del operario en tareas físicas y mentales previamente programadas. De esta definición original se desprende la definición de la automatización como la aplicación de la automática al control de procesos industriales.

Por proceso, se entiende aquella parte del sistema en que, a partir de la entrada de material, energía e información, se genera una transformación sujeta a perturbaciones del entorno, que da lugar a la salida de material en forma de producto. **Los procesos industriales** se conocen como procesos continuos, procesos discretos y procesos *batch*.

Los procesos continuos se caracterizan por la salida del proceso en forma de flujo continuo de material, como por ejemplo la purificación de agua o la generación de electricidad. Los procesos discretos contemplan la salida del proceso en forma de unidades o número finito de piezas, siendo el ejemplo más relevante la fabricación de automóviles. Finalmente, los procesos *batch* son aquellos en los que la salida del proceso se lleva a cabo en forma de cantidades lotes de material, como por ejemplo la fabricación de productos farmacéuticos o la producción de cerveza.

³Granollers, P. P. (06 de 04 de 2009). <http://www.epsevg.upc.edu>.

2.1.6. Accionamientos y Simulación.

Todos los accionamientos eléctricos y electrónicos disponen de un conjunto de elementos cuya dinámica es el corazón de la funcionalidad del accionamiento (elementos móviles, inercias, flujos, etc.) y algún tipo de dispositivo de control para que estos elementos actúen siguiendo unas pautas determinadas. Cómo afrontar el diseño de estos accionamientos, el papel de la simulación dentro de este diseño, y más específicamente la utilización de plataformas en tiempo real, que permiten probar dispositivos de control reales frente a modelos virtuales de los accionamientos a controlar.

2.1.7. Simulación en Tiempo Real.

En los últimos tiempos, y especialmente en las últimas décadas, como ocurre en todos los campos de la tecnología, los sistemas electrónicos en control y automatismo han presentado un sostenido incremento en la complejidad de sus procesos de análisis. Esto es consecuencia de varios factores, entre los que resaltan especialmente los siguientes:

- Constante incremento en las dimensiones: las interconexiones de sistema eléctricos y la inclusión de nuevas estaciones y subestaciones resultan que los sistema cada vez sean más complejos que hacen que la simulación de los mismos sea más exigente desde el punto de vista computacional.
- Inclusión de dispositivos tales como motores, reguladores, convertidores, generadores, controladores de diversos tipos, etc. Los modelos utilizados para representar estos equipos agregan considerables exigencias de cálculo y de memoria. Todo esto, sumado a la necesidad de ofrecer servicios de mejor calidad, hace que los programas de simulación utilizados tradicionalmente en el estudio de los diversos fenómenos y eventos involucrados en la operación de

estos sistemas necesiten la implementación de nuevas plataformas tecnológicas que permitan la obtención de resultados en tiempo hábil.

En este contexto, resalta de manera especial la Simulación en Tiempo Real [4]. Esta metodología consiste, básicamente, en reproducir la respuesta de un sistema a lo largo de un intervalo en exactamente segundos, a diferencia de las simulaciones tradicionales, donde el cálculo de la respuesta en segundos puede utilizar varios segundos, minutos u horas, de acuerdo a la complejidad del caso, el programa informático a ser utilizado y al poder de cálculo disponible.

La principal ventaja de la Simulación en Tiempo Real consiste en la posibilidad de interactuar efectivamente con elementos reales de los sistemas, tales como, por citar los principales:

- Sistemas de protección de líneas y equipos.
- Sistemas de control.

Esto resulta especialmente necesario durante el proceso de evaluación de las características de los nuevos dispositivos, tanto durante el proceso de control de calidad (ensayos de aceptación en fábrica) como durante el comisionamiento. En la actualidad, los ensayos realizados en plataformas de tiempo real se han convertido en procedimientos estándar en el sector industrial.

⁴ Dècimo Tercer Encuentro Regional Iberoamericano de Cigrè. (24 de 05 de 2009). Laboratorio de Simulacòn de sistemas Elèctricos en Tiempo Real. <http://www.labplan.ufsc.br/>.

2.1.8. Estaciones de bombeo definición⁵

Una Estación de Bombeo (EB) (también llamada Estación Elevadora (EE)), es una instalación hidroelectromecánica destinada a forzar el escurrimiento de una vena líquida para que ésta llegue a destino en las condiciones previstas en su diseño.

Por hidroelectromecánica se entiende aquella instalación donde se conjugan los componentes y estructuras hidráulicas en primer lugar, mecánicas, eléctricas y últimamente también las electrónicas.

Por lo general esta instalación está contenida en una obra civil, motivo por el cual la EB reúne en sí mismo los conocimientos de casi todas las ramas de la ingeniería.

En rigor “forzar el escurrimiento” se refiere a impartirle al líquido una determinada cantidad de energía proveniente de una bomba, la cual a su vez la recibe en forma mecánica en su eje. En consecuencia una EB es una instalación hidroelectromecánica donde se le imprime al líquido que pasa por ella una cierta cantidad de energía hidráulica suministrada por una máquina hidráulica llamada bomba, la cual se alimenta mecánicamente desde un motor.

2.2. INSTRUMENTACION INDUSTRIAL

⁵Koutoudjian,I.J.(s.f.). <http://www.fi.uba.ar/>. *Obtenido de*

<http://www.fi.uba.ar/archivos/> Estaciones_de_Bombeo. Instituto de Ingeniería Sanitaria y Ambiental.

2.2.1. Introducción

En los inicios de la era industrial, el operario llevaba a cabo un control manual de estas variables utilizando aproximadamente unos 610 instrumentos simples, manómetros, termómetros, válvulas manuales, etc., control que era suficiente por la relativa simplicidad de los procesos. Sin embargo, la gradual complejidad con que éstos se han ido desarrollando ha exigido su automatización progresiva por medio de los instrumentos de medición y control. Estos instrumentos han ido liberando al operario de su función de actuación física directa en la planta y al mismo tiempo, le han permitido una labor única de supervisión y de vigilancia del proceso desde centros de control situados en el propio proceso o bien en salas aisladas separadas.

Los procesos industriales a controlar pueden dividirse ampliamente en dos categorías: procesos continuos y procesos discontinuos. En ambos tipos, deben mantenerse en general las variables (presión, caudal, nivel, temperatura, etc.), bien en un valor deseado fijo, bien en un valor variable con el tiempo de acuerdo con una relación predeterminada, o bien guardando una relación determinada con otra variable.

El sistema de control que permite este mantenimiento de las variables puede definirse como aquel que compara el valor de la variable o condición a controlar con un valor deseado y toma una acción de corrección de acuerdo con la desviación existente sin que el operario intervenga en absoluto.

El sistema de control exige pues, para que esta comparación y subsiguiente corrección sean posibles, que se incluya una unidad de medida, una unidad de control, un elemento final de control y el propio proceso. Este conjunto de unidades forman un bucle o lazo que recibe el nombre de bucle de control.

El bucle puede ser abierto (fig. 2.1) o bien cerrado (fig. 2.2).

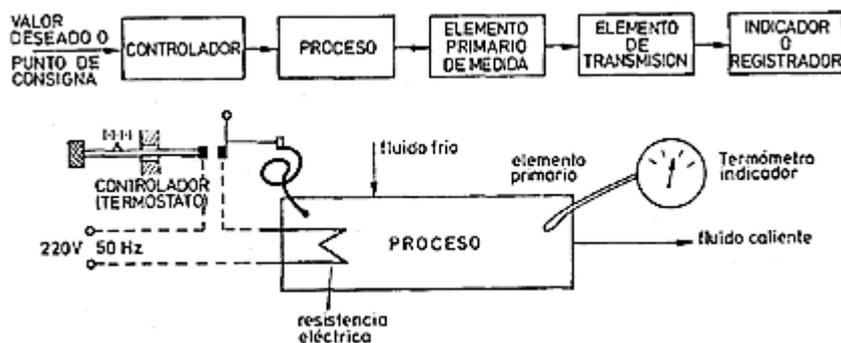


Figura # 2. 1: Bucle abierto de regulación

Fuente: Solè, A. C

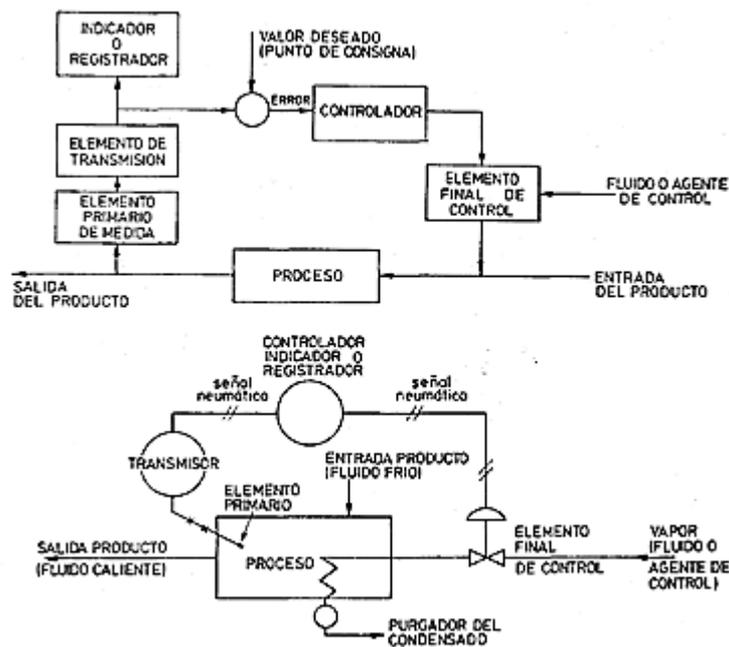


Figura # 2. 2: Bucle cerrado de regulación

Fuente: Solè, A. C. (1997).

2.2.2. Definiciones en control

Los instrumentos de control empleados en las industrias de proceso tales como química, petroquímica, alimenticia, metalúrgica, energética, textil, papel, etc., tienen su propia terminología; los términos empleados definen las características

propias de medida y de control y las estáticas y dinámicas de los diversos instrumentos utilizados:

Indicadores, registradores, controladores, transmisores y válvulas de control.

La terminología empleada se ha unificado con el fin de que los fabricantes, los usuarios y los organismos o entidades que intervienen directa o indirectamente en el campo de la instrumentación industrial empleen el mismo lenguaje. Las definiciones de los términos empleados se relacionan con las sugerencias hechas por la SAMA (*Scientific Apparatus Makers Association*) en su norma PMC 20-21970.

2.2.3. Campo de medida (range)

Espectro o conjunto de valores de la variable medida que están comprendidos dentro de los límites superior e inferior de la capacidad de medida o de transmisión del instrumento; viene expresado estableciendo los dos valores extremos.

2.2.4. Alcance (span)

Es la diferencia algebraica entre los valores superior e inferior del campo de medida del instrumento.

2.2.5. Error

Es la diferencia algebraica entre el valor leído o transmitido por el instrumento y el valor real de la variable medida. Si el proceso está en condiciones de régimen permanente existe el llamado *error estático*. En condiciones dinámicas el error varía considerablemente debido a que los instrumentos tienen características comunes a los sistemas físicos: absorben energía del proceso y esta transferencia

requiere cierto tiempo para ser transmitida, lo cual da lugar a retardos en la lectura del aparato. Siempre que las condiciones sean dinámicas, existirá en mayor o menor grado el llamado *error dinámico* (diferencia entre el valor instantáneo de la variable y el indicado por el instrumento): su valor depende del tipo de fluido del proceso, de su velocidad, del elemento primario (termopar, bulbo y capilar), de los medios de protección (vaina), etc. El *error medio* del instrumento es la media aritmética de los errores en cada punto de la medida determinados para todos los valores crecientes y decrecientes de la variable medida.

2.2.6. Incertidumbre de la medida (uncertainty)

Los errores que existen necesariamente al realizar la medida de una magnitud, hacen que se tenga una incertidumbre sobre el verdadero valor de la medida. La incertidumbre es la dispersión de los valores que pueden ser atribuidos razonablemente al verdadero valor de la magnitud medida. En el cálculo de la incertidumbre intervienen la distribución estadística de los resultados de series de mediciones, las características de los equipos (deriva, ...), etc.

Cuando se dispone de una sola medida, la incertidumbre es:

$$i = K\delta$$

dónde: K = factor que depende del nivel de confianza ($K = 2$ para 95 %)

δ = desviación típica del instrumento indicada por el fabricante.

2.2.7. Zona muerta (dead zone o dead band)

Es el campo de valores de la variable que no hace variar la indicación o la señal de salida del instrumento, es decir, que no produce su respuesta. Viene dada en tanto por ciento del alcance de la medida.

2.2.8. Sensibilidad (sensitivity)

Es la razón entre el incremento de la lectura y el incremento de la variable que lo ocasiona, después de haberse alcanzado el estado de reposo. Por ejemplo, si en un transmisor electrónico de 0-10 bar, la presión pasa de 5 a 5,5 bar y la señal de salida de 11,9 a 12,3 mA c.c. la sensibilidad es el cociente:

$$\frac{(12,3 - 11,9)/(20 - 4)}{(5,5 - 5)/10} = \pm 0,5 \text{mA c.c./bar}$$

Viene dada en tanto por ciento del alcance de la medida. Si la sensibilidad del instrumento de temperatura es de $\pm 0,05 \%$, su valor será de $0,05 \times 200/100 = \pm 0,1^\circ\text{C}/^\circ\text{C}$.

2.2.9. Repetitividad (repeatability)

La repetitividad es la capacidad de reproducción de las posiciones de la pluma o del índice o de la señal de salida. Del instrumento al medir repetidamente valores idénticos de la variable en las mismas condiciones de servicio y en el mismo sentido de variación. recorriendo todo el campo. Se considera en general su valor máximo (repetitividad máxima) y se expresa en tanto por ciento del alcance; un valor representativo es el de $\pm 0,1 \%$.

2.2.10. Histéresis (histéresis)

La histéresis es la diferencia máxima que se observa en los valores indicados por el índice o la pluma del instrumento para el mismo valor cualquiera del campo de medida, cuando la variable recorre toda la escala en los dos sentidos, ascendente y descendente.

Se expresa en tanto por ciento del alcance de la medida. Por ejemplo: Si en un termómetro de 0-100 %, para el valor de la variable de 40 °C, la aguja marca 39,9 al subir la temperatura desde 0, e indica 40,1 al bajar la temperatura desde 100 °C, el valor de la histéresis es de:

$$\frac{40,1 - 39,9}{100 - 0} \times 100 = \pm 0,2\%$$

2.2.11. Clases de instrumentos

Los instrumentos de medición y de control son relativamente complejos y su función puede comprenderse bien si están incluidos dentro de una clasificación adecuada. Como es lógico, pueden existir varias formas para clasificar los instrumentos, cada una de ellas con sus propias ventajas y limitaciones. Se considerarán dos clasificaciones básicas: la primera relacionada con la función del instrumento y la segunda con la variable del proceso.

2.2.11.1. En función del instrumento

De acuerdo con la función del instrumento, obtenemos las formas siguientes:

Instrumentos *ciegos*, son aquellos que no tienen indicación visible de la variable. Hay que hacer notar que son ciegos los instrumentos de alarma, tales como presostatos y termostatos (interruptores de presión y

temperatura respectivamente) que poseen una escala exterior con un índice de selección de la variable, ya que sólo ajustan el punto de disparo del interruptor o conmutador al cruzar la variable el valor seleccionado. Son también instrumentos ciegos, los transmisores de caudal, presión, nivel y temperatura sin indicación.

Los instrumentos disponen de un índice y de una escala graduada en la que puede leerse el valor de la variable. Según la amplitud de la escala se dividen en indicadores concéntricos y excéntricos. Existen también indicadores digitales que muestran la variable en forma numérica con dígitos.



Figura # 2. 3: Controles industriales para automatización

Fuente: Solè, A. C. (1997).

2.2.11.2. En función de la variable de proceso

De acuerdo con la variable del proceso, los instrumentos se dividen en instrumentos de caudal, nivel, presión, temperatura, densidad y peso

específico, humedad y punto de rocío, viscosidad, posición, velocidad, pH, conductividad, frecuencia, fuerza, turbidez, etc.

Esta clasificación corresponde específicamente al tipo de las señales medidas siendo independiente del sistema empleado en la conversión de la señal de proceso. De este modo, un transmisor neumático de temperatura del tipo de bulbo y capilar, es un instrumento de temperatura a pesar de que la medida se efectúa convirtiendo las variaciones de presión del fluido que llena el bulbo y el capilar; el aparato receptor de la señal neumática del transmisor anterior es un instrumento de temperatura, si bien, al ser receptor neumático lo podríamos considerar instrumento de presión, caudal, nivel o cualquier otra variable, según fuera la señal medida por el transmisor correspondiente; un registrador potenciométrico puede ser un instrumento de temperatura, de conductividad o de velocidad, según sean las señales medidas por los elementos primarios de termopar.

Asimismo, esta clasificación es independiente del número y tipo de transductores existentes entre el elemento primario y el instrumento final. Así ocurre en el caso de un transmisor electrónico de nivel de 4 a 20 mA c.c., un receptor controlador con salida de 4-20 mA c.c., un convertidor intensidad-presión (IIP) que transforma la señal de 4-20 mA c.c. a neumática de 3-15 psi y la válvula neumática de control; todos estos instrumentos se consideran de nivel. En la designación del instrumento se utiliza en el lenguaje común las dos clasificaciones expuestas anteriormente. Y de este modo, se consideran instrumentos tales como transmisores ciegos de presión, controladores registradores de temperatura, receptores indicadores de nivel, receptores controladores registradores de caudal, etc.

En la figura 2.4 pueden verse los diversos instrumentos descritos.

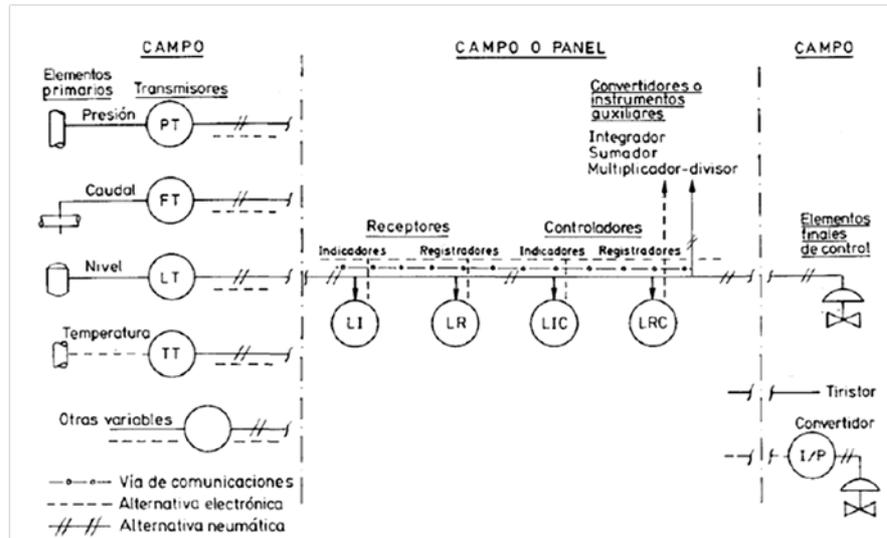


Figura # 2. 4: Clases de instrumentos.

Fuente: Solè, A. C. (1997).

2.2.12. Resumen Norma ISA-55.1-84

Generalidades

A) Cada instrumento debe identificarse con sistema de letras que lo clasifique funcionalmente. Una identificación representativa es la siguiente:

| | | | |
|--------------------------|------------------|--------------------------|--------------------------------|
| T R C | | 2 A | |
| Primera letra | Letras sucesivas | Número del bucle | Sufijo (no se usa normalmente) |
| Identificación funcional | | Identificación del bucle | |

B) El número de letras funcionales para un instrumento debe ser mínimo, no excediendo de cuatro. Para ello conviene:

1. Disponer las letras en subgrupos. Por ejemplo, un transmisor registrador de relación de caudales con un interruptor de alarma de relación de

caudales puede identificarse con dos círculos uno con FFRT-3 y el otro FFS-3

2. En un instrumento que indica y registra la misma variable medida puede omitirse la letra 1 (indicación), tal como se observa en la tabla 2.1.

| Ira Letra | | Letras sucesivas | | |
|---------------------|----------------------------|---------------------------|--|-----------------------------|
| Variable medida (3) | Letra de modificación | Función de lectura pasiva | Función de salida | Letra de modificación |
| A | Análisis (4) | Alarma | | |
| B | Llama (quemador) | Libre (1) | Libre (1) | Libre(1) |
| C | Conductividad | | Control | |
| D | Densidad o peso específico | Diferencial (3) | | |
| E | Tensión (f.e.m.) | Elemento primario | | |
| F | Caudal | Relación (3) | | |
| G | Calibre | Vidrio (8) | | |
| H | Manual | | | Alto (6) (13) (14) |
| I | Corriente eléctrica | Indicación o indicador(9) | | |
| J | Potencia | Exploración (6) | | |
| K | Tiempo | | Estación de control | |
| L | Nivel | Luz piloto (10) | | Bajo (6) (13) (14) |
| M | Humedad | | | Medio o intermedio (6) (13) |
| N | Libre (1) | Libre | Libre | Libre |
| O | Libre (1) | Orificio | | |
| P | Presión o vacío | Punto de prueba | | |
| Q | Cantidad | Integración (3) | | |
| R | Radiactividad | Registro | | |
| S | Velocidad o frecuencia | Seguridad (7) | Interruptor | |
| T | Temperatura | | Transmisión o transmisor | |
| U | Multivariable (5) | Multifunción (11) | Multifunción (11) | Multifunción (11) |
| V | Viscosidad | | Válvula | |
| W | Peso o fuerza | Vaina | | |
| X | Sin clasificar (2) | Sin clasificar | Sin clasificar | Sin clasificar |
| Y | Libre (1) | | Relé o computador (12) | |
| Z | Posición | | Elemento final de control sin clasificar | |

Tabla # 2. 1: Significados de las letras de identificación

Fuente: Solè, A. C. (1997).

2.2.13. Transmisores

Generalidades

Es útil cuando existen problemas en el suministro electrónico. De todos modos, basta conectar una línea de 250 Ω para tener la señal electrónica de 4-20 mA c.c. La señal electrónica de 4 a 20 mA c.c. tiene un nivel suficiente y de compromiso entre la distancia de transmisión y la robustez del equipo.

Al ser continua y no alterna, elimina la posibilidad de captar perturbaciones, está libre de corrientes parásitas y emplea sólo dos hilos que no precisan blindaje. La relación de 4 a 20 mA c.c. es de 1 a 5, la misma que la razón de 3 a 15psi en la señal neumática y el nivel mínimo seleccionado de 4 mA elimina el problema de la corriente residual que se presenta al desconectar los circuitos a transistores. La alimentación de los transmisores puede realizarse con una unidad montada en el panel de control y utilizando el mismo par de hilos del transmisor. El «cero vivo» con que empieza la señal (4 mA c.c.) ofrece las ventajas de poder detectar una avería por corte de un hilo (la señal se anula) y de permitir el diferenciar todavía más el «ruido» de la transmisión cuando la variable está en su nivel más bajo.

2.2.14. Medidas de presión

Unidades y clases de presión

La presión es una fuerza por unidad de superficie y puede expresarse en unidades tales como pascal, bar, atmósferas, kilogramos por centímetro cuadrado y psi (libras por pulgada cuadrada). En el Sistema Internacional (S.I.) está normalizada en pascal de acuerdo con las Conferencias Generales de Pesas y Medidas 13 y 14* que tuvieron lugar en París en octubre de 1967 y 1971, Y según la Recomendación Internacional número 17, ratificada en la **III** Conferencia General de la Organización Internacional de Metrología Legal**. El pascal es 1 newton por metro cuadrado (1 N/m²), siendo el newton la fuerza que aplicada a un cuerpo.

La presión puede medirse en valores absolutos o diferenciales. En la figura 2. se indican las clases de presión que los instrumentos miden comúnmente en la industria.

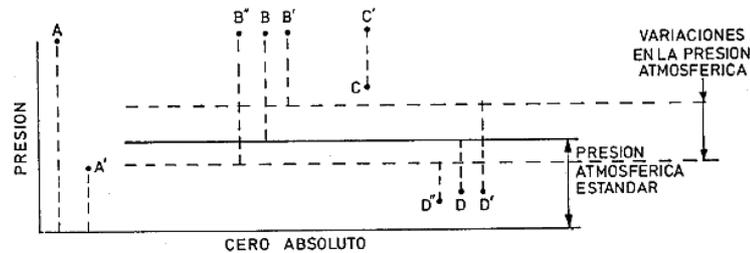


Figura # 2. 5: Clases de presión

Fuente: Solè, A. C. (1997).

La *presión absoluta* se mide con relación al cero absoluto de presión (puntos A y A' de la figura 2.5).

La *presión atmosférica* es la presión ejercida por la atmósfera terrestre medida mediante un barómetro. A nivel del mar, esta presión es próxima a 760 mm (29,9 pulgadas) de mercurio absolutos o 14,7 psia (libras por pulgada cuadrada absolutas) y estos valores definen la presión ejercida por la atmósfera estándar.

La *presión relativa* es la determinada por un elemento que mide la diferencia entre la presión absoluta y la atmosférica del lugar donde se efectúa la medición (punto B de la figura). Hay que señalar que al aumentar o disminuir la presión atmosférica, disminuye o aumenta respectivamente la presión leída (puntos B' y B''), si bien ello es despreciable al medir presiones elevadas.

La *presión diferencial* es la diferencia entre dos presiones, puntos C y C'. El *vacío* es la diferencia de presiones entre la presión atmosférica existente y la presión absoluta, es decir, es la presión medida por debajo de la atmosférica

(puntos D , DI y D''). Viene expresado en mm columna de mercurio, mm columna de agua o pulgadas de columna de agua. Las variaciones de la presión atmosférica influyen considerablemente en las lecturas del vacío.

2.2.15. Medidas de caudal

En la mayor parte de las operaciones realizadas en los procesos industriales y en las efectuadas en laboratorio y en plantas piloto es muy importante la medición de los caudales de líquidos o de gases.

Existen varios métodos para medir el caudal según sea el tipo de caudal volumétrico o másico deseado. Entre los transductores más importantes figuran los siguientes:

| | <i>Sistema</i> | <i>Elemento</i> | <i>Transmisor</i> |
|-------------------------------|----------------------------|--|---|
| <i>Medidores volumétricos</i> | <i>Presión diferencial</i> | Placa-orificio Tobera Tubo Venturi Tubo Pitot Tubo Annubar | conectados a tubo U o a elemento de fuelle o de diafragma Equilibrio de fuerzas Silicio difundido |
| | <i>Área variable</i> | Rotámetro | Equilibrio de movimientos Potenciométrico Puente de impedancias |
| | <i>Velocidad</i> | Vertedero con flotador en canales abiertos Turbina Sondas ultrasónicas | Potenciométrico Piezoeléctrico |
| | <i>Fuerza</i> | Placa de impacto | Equilibrio de fuerzas Galgas extensométricas |
| | <i>Tensión inducida</i> | Medidor magnético | Convertidor potenciométrico |

(sigue)

2.2.16. Medidor magnético de caudal

La ley de Faraday establece que la tensión inducida a través de cualquier conductor, al moverse éste perpendicularmente a través de un campo magnético, es proporcional a la velocidad del conductor. La regla de la mano derecha nos indica que colocando la mano derecha abierta, con la palma perpendicular a las líneas de fuerza del campo magnético, y los dedos en el sentido de la corriente del fluido, el pulgar señala el sentido de la corriente inducida.

Faraday intentó aplicar esta teoría en la medición de la velocidad del río Támesis en 1832. Suponía que el agua del río circulaba perpendicularmente al campo magnético de la Tierra y que el agua es un conductor relativamente bueno. Sumergió una probeta en el agua y esperaba obtener una señal que variara directamente con la velocidad. No tuvo éxito debido a que no disponía de indicadores sensibles y a que el campo magnético de la Tierra es bajo. No obstante, su teoría fue aceptada. Los holandeses fueron los primeros en el mundo que adaptaron este principio. En 1950 practicaron el bombeo de grandes cantidades de agua de una zona a otra en las tierras bajas de Holanda. Era importante tener una indicación del caudal para supervisar los caudales manejados. En 1950, cuando se desarrollaron ampliamente las técnicas más avanzadas de corriente alterna, se diseñaron amplificadores más fiables y económicos y sólo entonces el medidor magnético de caudal pasó a utilizarse en una gran variedad de aplicaciones industriales. La fórmula del caudal que da la ley de Faraday es la siguiente:

$$E = KB \times Iv$$

E = tensión generada en el conductor;

K = constante;

B = densidad del campo magnético;

l = longitud del conductor;

v = velocidad del movimiento.

En el medidor magnético de caudal (fig. 2.6) el conductor es el líquido y E_s es la señal generada, esta señal es captada por dos electrodos rasantes con la superficie interior del tubo y diametralmente opuestos. Realmente la única zona del líquido en movimiento que contribuye a la f.e.m. es la que une en línea recta a los dos electrodos, B es la densidad del campo magnético creado por medio de la bobina de campo, l es el diámetro de la tubería y v es la velocidad del fluido a través del medidor.

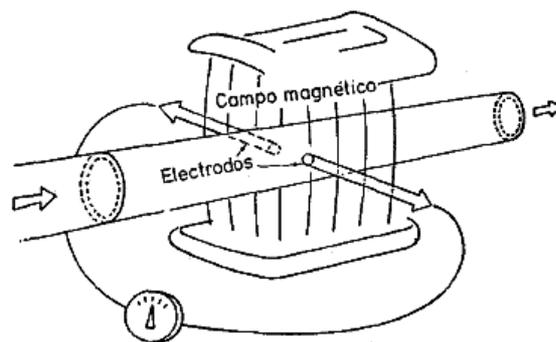


Figura # 2. 6: Medidor magnético de caudal

Fuente: Solè, A. C. (1997).

2.2.17. Medición de nivel

En la industria, la medición de nivel es muy importante, tanto desde el punto de vista del funcionamiento correcto del proceso como de la consideración del balance adecuado de materias primas o de productos finales.

La utilización de instrumentos electrónicos con microprocesador en la medida de otras variables, tales como la presión y la temperatura, permite añadir

«inteligencia» en la medida del nivel, y obtener precisiones de lectura altas, del orden de $\pm 0,2 \%$, en el inventario de materias primas o finales o en transformación en los tanques del proceso.

El transmisor de nivel «inteligente» hace posible la interpretación del nivel real (puede eliminar o compensar la influencia de la espuma en flotación del tanque, en la lectura), la eliminación de las falsas alarmas (tanques con olas en la superficie debido al agitador de paletas en movimiento), y la fácil calibración del aparato en cualquier punto de la línea de transmisión.

El transmisor o varios transmisores pueden conectarse, a través de una conexión RS-232, a un ordenador personal, que con el software adecuado, es capaz de configurar transmisores inteligentes.

Los instrumentos de nivel pueden dividirse en medidores de nivel de líquidos y de sólidos que son dos mediciones claramente diferenciadas.

2.2.17.1. Medidores de nivel de líquidos

Los medidores de nivel de líquidos trabajan midiendo, bien directamente la altura de líquido sobre una línea de referencia, bien la presión hidrostática, bien el desplazamiento producido en un flotador por el propio líquido contenido en el tanque del proceso, o bien aprovechando características eléctricas del líquido.

Los primeros instrumentos de medida directa se dividen en: sonda, cinta y plomada, nivel de cristal e instrumentos de flotador.

Los aparatos que miden el nivel aprovechando la presión hidrostática se dividen en:

- Medidor manométrico
- Medidor de membrana
- Medidor de tipo burbujeo
- Medidor de presión diferencial de diafragma

El empuje producido por el propio líquido lo aprovecha el medidor de desplazamiento a barra de torsión.

Los instrumentos que utilizan características eléctricas del líquido se clasifican en:

- Medidor resistivo
- Medidor conductivo
- Medidor capacitivo
- Medidor ultrasónico
- Medidor de radiación
- Medidor de láser

2.2.17.2. El sistema ultrasónico de medición de nivel

Se basa 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 tanque. Los sensores trabajan a una frecuencia de unos 20 kHz. Estas ondas atraviesan con cierto amortiguamiento o reflexión el medio ambiente de gases o vapores y se reflejan en la superficie del sólido o del líquido. En la figura 2.7 pueden verse varias disposiciones de montaje de los detectores que se utilizan en los casos de alarmas o de indicación continua del nivel.

En las aplicaciones de alarma de nivel los sensores vibran a una frecuencia de resonancia determinada, que se amortigua cuando el líquido los moja.

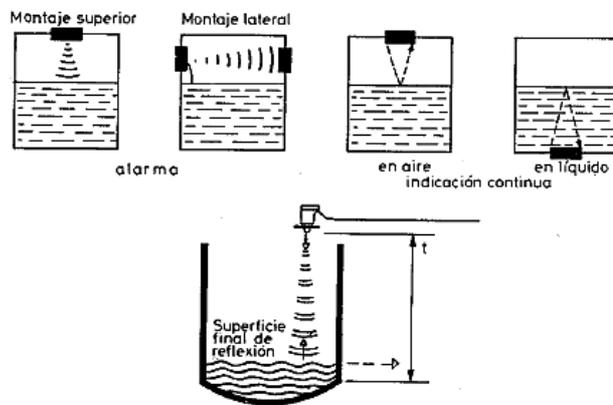


Figura # 2. 7: Transductor ultrasónico de nivel.

Fuente: Solè, A. C. (1997).

La precisión de estos instrumentos es de ± 1 a 3 %. Son adecuados para todos los tipos de tanques y de líquidos o fangos pudiendo construirse a prueba de explosión. Presentan el inconveniente de ser sensibles a la densidad de los fluidos y de dar señales erróneas cuando la superficie del

nivel del líquido no es nítida como es el caso de un líquido que forme espuma, ya que se producen falsos ecos de los ultrasonidos.

2.3. LOS SISTEMAS DE VISUALIZACIÓN

2.3.1. Introducción

Alrededor de los años sesenta la tendencia en automatización era la de que cada fabricante debía resolver sus problemas de control por sí solo. Quien se encontraba ante un problema de automatización desarrollaba un elemento electrónico específico para solventarlo. Una memoria reducida era lo normal en estos elementos, por lo cual necesitaban comunicarse constantemente con sus sistemas de control centrales para enviar los datos. Incluían una serie de entradas y salidas fijas y utilizaban generalmente lenguajes de programación poco conocidos.

Los años setenta ven aparecer una nueva generación de autómatas de la mano de fabricantes de equipos eléctricos como Siemens, Square-D, o Allen-Bradley. Implementaron autómatas capaces de controlar grandes cantidades de entradas y salidas, ideales para industrias tales como la automoción. No se trataba de entornos amigables, por lo cual estos controles estaban diseñados para soportar las condiciones más severas y, por tanto, eran grandes, pesados y muy caros.

Otra de las consecuencias de la evolución de la electrónica fue la reducción de los componentes, lo que permitió realizar una disminución progresiva de tamaño, peso y coste en todos los niveles industriales de control.

Resultado de esto fue la introducción de los micros PLC, en los años ochenta. Permitían realizar controles modulares que se adaptaban a las necesidades del

momento y venían provistos ahora de sistemas de programación genéricos (ladder o escalera), lo que les deparó un éxito inmediato en todo el ámbito industrial.

2.3.2. Evolución de los sistemas de Visualización.

De una forma u otra, cada vez que se ha realizado el control de un sistema, grande o pequeño, ha sido necesario tener información visual de cómo está funcionando. Así, a medida que los sistemas de control han ido evolucionando y se han hecho cada vez más complejos, ha aumentado también la complejidad de los elementos que proporcionan la información al usuario.

De un simple indicador de aguja, que representa una variable del proceso (por ejemplo, la presión de aire en una instalación neumática), se ha llegado a grandes paneles sinópticos que muestran el estado de grandes instalaciones (por ejemplo, una refinería).

Si nos ceñimos a la era moderna, las necesidades de ver en la distancia y controlar una máquina aparecen en los primeros cuadros de control, donde multitud de luces indicaban las diferentes situaciones previstas de la máquina. Cualquier situación imprevista, o pasada por alto, podía significar varias horas de trabajo de electricista para llevar la señal olvidada al panel de control y podía ser que no hubiera espacio para colocar el indicador.

La aparición de la informática permitió realizar este tipo de control de manera más sencilla. Ahora ya no sería necesario tener a verdaderos expertos en sistemas de automatización cada vez que hiciera falta cambiar el ajuste de un temporizador en un sistema de control.

Los grandes cuadros de control empezaban a convertirse en monitores que podían mostrar la misma información. Pero cualquier cambio en la presentación era más sencillo de realizar. Bastaban unas modificaciones en el código de la aplicación para que en la pantalla apareciera, por ejemplo, un contador de piezas olvidado en el momento de realizar el diseño del ejemplo anterior.

Vista la necesidad, varios fabricantes desarrollaron entonces paquetes de software capaces de comunicarse con los sistemas de control existentes y permitieron así una flexibilidad de uso no imaginada hasta el momento. Esta tendencia ha ido en aumento, de tal manera que hoy día las opciones existentes son numerosísimas. Algunos de los más conocidos:

Intellution IFIX

Omron SCS

Siemens WinCC

Rockwell Automation RS-View

Wonderware InTouch

GE-Fanuc Cimplicity

La evolución de los sistemas operativos ha incrementado también las posibilidades de estos sistemas, permitiendo las estructuras multipuesto gracias a los sistemas de red informáticos.

Con la irrupción de Internet en el mundo de las comunicaciones industriales ahora es posible conectarse con un sistema de control situado en cualquier lugar del mundo gracias a la tecnología Web-Server: un ordenador dotado de un explorador y la dirección IP del sistema que queremos visualizar serán suficientes.

2.3.3. El control a Distancia

A lo explicado anteriormente se le une, de forma inevitable, la forma en la cual las señales se intercambian entre el sistema a controlar y el sistema que controla.

Aparece el concepto de telemetría (tele medida o medida a distancia), entendido como la transmisión a distancia de información sobre algún tipo de magnitud. Si además la presentación de los datos se realiza de forma inteligible ya nos proporciona la base para el desarrollo de un sistema de control y monitorización a distancia.

Un ejemplo de telemetría es el control de llenado de un depósito de agua desde una mina. Unos sensores se ocupan de vigilar el nivel de agua del depósito y el de la mina, informando a la bomba de cuándo debe ponerse en marcha para bombear agua al depósito, si hay nivel insuficiente en éste o cuando debe detenerse, si el depósito está lleno o el nivel de la mina no es suficiente.

Desde el centro de control podríamos ver la evolución del nivel de la estación y decidir las acciones pertinentes en caso de problemas (detener el bombeo manualmente, ver si hay elementos defectuosos, etc.).

La clasificación de los diferentes sistemas de intercambio de información, telemetría y monitorización podría hacerse basándose en el sistema de transmisión:

2.3.3.1. Sistema de Marcación Automática

Utilizan las líneas telefónicas para transmitir en banda base (rango de voz).

Los costes de comunicación son reducidos, puesto que las comunicaciones suelen ser puntuales. Por ejemplo, un equipo de monitorización de nivel

situado en un depósito de agua de una población bastará con que transmita el valor de nivel cada hora.

Permiten el acceso desde cualquier lugar del mundo donde haya un teléfono y un módem. Los RTU (Remote Terminal Unit) capaces de comunicarse mediante caracteres ASCII (por ejemplo, mediante el protocolo Modbus), pueden conectarse con cualquier combinación ordenador-módem.

Actualmente tiene bastante implantación la comunicación vía SMS (Short Message Service) o mensajes vía teléfono móvil. El controlador envía mensajes de texto a uno o varios teléfonos prefijados y es capaz también de recibir e interpretar mensajes (marcha, paro, etc.).

2.3.3.2. Sistemas Dedicados

Son aquellos que tienen una línea de comunicación permanente con la central. Las comunicaciones se realizan mediante protocolos específicos de comunicación entre máquinas. Permiten la monitorización continua de sistemas remotos y son muy rápidos en la captación de datos y en la emisión de comandos de control y configuración.

2.3.3.3. Sistemas de canales Múltiplexados

La necesidad de transmitir señales de un punto a otro dentro de una instalación se solventa de manera sencilla cuando las distancias son cortas.

El problema se multiplica cuando la distancia se incrementa, las tiradas de cable aumentan el coste de la instalación y de la mano de obra, también

aparecen múltiples problemas eléctricos (interferencias, fallos de conexionado, capacidades parásitas).

La técnica que permite enviar varias señales sobre un único canal de comunicación se denomina multiplexado.

Un multiplexor agrupa las señales de entrada en un único mensaje y en el otro extremo de la línea de transmisión estas señales son regeneradas, exactamente igual que si hubieran ido por cables dedicados.

De esta forma, dos o más terminales remotos, conectados a multiplexores de señal, pueden transmitir múltiples señales de forma simultánea a través del mismo canal, transmitiéndola vía cable o radio.

Se presenta en la figura 2.8, un bus de comunicaciones del tipo serie, donde los datos de elementos separados se empaquetan dentro de un único mensaje que se envía a través del canal de comunicación y se desempaqueta en destino.

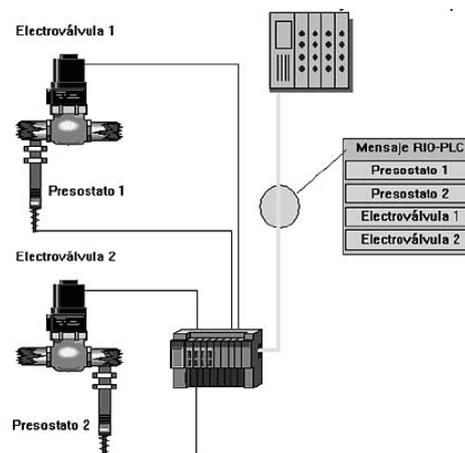


Figura # 2. 8: Multiplexado aplicado a un bus de campo.

Fuente: Rodríguez Penin, A. (2008).

2.3.4. El sistema SCADA

Se da el nombre de Scada (*Supervisory Control And Data Acquisition o Control con Supervisión y Adquisición de Datos*) a cualquier software que permita el acceso a datos remotos de un proceso y permita, utilizando las herramientas de comunicación necesarias en cada caso, el control del mismo.

No se trata de un sistema de control, sino de una utilidad software de monitorización o supervisión, que realiza la tarea de interface entre los niveles de control (PLC) y los de gestión, a un nivel superior.

Los objetivos para que su instalación sea perfectamente aprovechada son los siguientes:

- Funcionalidad completa de manejo y visualización en sistema operativo Windows sobre cualquier PC estándar.
- Arquitectura abierta que permita combinaciones con aplicaciones estándar y de usuario, que permitan a los integradores crear soluciones de mando y supervisión optimizadas (Active X para ampliación de prestaciones, OPC para comunicaciones con terceros, OLE-DB para comunicación con bases de datos, lenguaje estándar integrado como VB o C, acceso a funciones y datos mediante API).
- Sencillez de instalación, sin exigencias de hardware elevadas, fáciles de utilizar, y con interfaces amigables con el usuario.
- Permitir la integración con las herramientas ofimáticas y de producción.

- Fácilmente configurable y escalable, debe ser capaz de crecer o adaptarse según las necesidades cambiantes de la empresa.
- Ser independiente del sector y la tecnología.
- Funciones de mando y supervisión integradas.
- Comunicaciones flexibles para poder comunicarse con total facilidad y de forma transparente al usuario con el equipo de planta y con el resto de la empresa (redes locales y de gestión).
- La topología de un sistema Scada (su distribución física) variará adecuándose a las características de cada aplicación. Unos sistemas funcionarán bien en configuraciones de bus, otros en configuraciones de anillo. Unos necesitarán equipos redundantes debido a las características del proceso, etc.

2.3.4.1. Objetivos

Los sistemas Scada se conciben principalmente como una herramienta de supervisión y mando. Entre sus objetivos podemos destacar:

Economía: es más fácil ver qué ocurre en la instalación desde la oficina que enviar a un operario a realizar la tarea. Ciertas revisiones se convertirán en innecesarias.

Accesibilidad: un parque eólico al completo (velocidad de cada rotor, producción de electricidad), lo tenemos en un clic de ratón encima de la mesa de trabajo. Será posible modificar los parámetros de funcionamiento

de cada aerogenerador, poniendo fuera de servicio los que den indicios de anomalías; consultar el estado de las estaciones transformadoras del parque, detener los molinos que no sean necesarios, etc.

Mantenimiento: la adquisición de datos materializa la posibilidad de obtener datos de un proceso, almacenarlos y presentarlos de manera inteligible para un usuario no especializado. La misma aplicación se puede programar de manera que avise cuando se aproximen las fechas de revisión o cuando una máquina tenga más fallos de los considerados normales.

Ergonomía: es la ciencia que procura hacer que la relación entre el usuario y el proceso sea lo menos tirante posible. Los modernos ordenadores, con sus prestaciones gráficas, intentan sustituir a los grandes paneles, repletos de cables, pilotos y demás aparellaje informativo. Pero hay un problema que aún persiste: cómo presentar toda esa información sin aburrir ni fatigar al usuario.

Gestión: todos los datos recopilados pueden ser valorados de múltiples maneras mediante herramientas estadísticas, gráficas, valores tabulados, etc., que permitan explotar el sistema con el mejor rendimiento posible.

Flexibilidad: cualquier modificación de alguna de las características del sistema de visualización (añadir el estado de un contador de piezas, realizar algún cálculo) no significa un gasto en tiempo y medios, pues no hay modificaciones físicas que requieran la instalación de un cableado o del contador.

Conectividad: se buscan sistemas abiertos, es decir, sin secretos ni sorpresas para el integrador. La documentación de los protocolos de comunicación actuales permite la interconexión de sistemas de diferentes proveedores y evita la existencia de lagunas informativas que puedan causar fallos en el funcionamiento o en la seguridad.

Todos los sistemas, de mayor o menor complejidad, orientados a lo anteriormente dicho, aparecen bajo uno de los nombres más habituales para definir esta relación:

MMI: *Man Machine Interface*, Interface Hombre-Máquina.

HMI: *Human Machine Interface*, Interface Humano-Máquina.

El sistema a controlar aparece ante el usuario bajo un número más o menos elevado de pantallas con mayor o menor información. Se puede encontrar planos, fotografías, esquemas eléctricos, gráficos de tendencias, etc.

2.3.4.2. Prestaciones de la Herramienta.

El paquete SCADA, en su vertiente de herramienta de interface hombre-máquina, comprende toda una serie de funciones y utilidades encaminadas a establecer una comunicación lo más clara posible entre el proceso y el operador, entre las prestaciones de una herramienta de este tipo destacan:

La monitorización

Representación de datos en tiempo real a los operadores de planta. Se leen los datos de los autómatas (temperaturas, velocidades, detectores...). Una máquina simple, una instalación hidroeléctrica, un parque eólico, pueden

ser vigilados desde muchos kilómetros de distancia. En el dibujo, toda la línea de extrusionado está al alcance de un clic de ratón.

La supervisión

Supervisión, mando y adquisición de datos de un proceso y herramientas de gestión para la toma de decisiones (mantenimiento predictivo, por ejemplo). Tienen además la capacidad de ejecutar programas que puedan supervisar y modificar el control establecido y, bajo ciertas condiciones, anular o modificar tareas asociadas a los autómatas. Evita una continua supervisión humana.

La adquisición de datos de los procesos en observación

Un sistema de captación solar se puede observar mediante herramientas registradoras y obtener así un valor medio de la irradiación en la zona, guardando los valores obtenidos y evaluándolos a posterioridad (los parámetros de velocidad y temperatura de cada máquina de la línea se almacenan para su posterior proceso).

La visualización de los estados de las señales del sistema (alarmas y eventos).

Reconocimiento de eventos excepcionales acaecidos en la planta y su inmediata puesta en conocimiento a los operarios para efectuar las acciones correctoras pertinentes. Además, los paneles de alarma pueden exigir alguna acción de reconocimiento por parte del operario, de forma que queden registradas las incidencias. La rotura de una cinta transportadora en una de las máquinas de la línea de extrusionado aparece en forma de aviso en nuestra pantalla, con indicación gráfica de la situación del fallo y con un mensaje sonoro si es necesario.

El mando

Posibilidad de que los operadores puedan cambiar consignas u otros datos claves del proceso directamente desde el ordenador (marcha, paro, modificación de parámetros...). Se escriben datos sobre los elementos de control.

Grabación de acciones o recetas

En algunos procesos se utilizan combinaciones de variables que son siempre las mismas. Un sistema de recetas permite configurar toda una planta de producción ejecutando un solo comando.

La línea de vulcanizado en continuo (donde fabrican los perfiles de goma de las ventanas, por ejemplo) se compone de varias máquinas encadenadas con múltiples parámetros (velocidad y temperatura principalmente) que dependen del tipo de perfil a elaborar (la goma más ancha, más estrecha, con forma más o menos compleja, etc.). Con una sola pulsación se pueden poner en marcha todas las máquinas y programar las diferentes zonas de temperatura o velocidad de toda la línea del ejemplo.

Garantizar la seguridad de los datos

Tanto el envío como la recepción de datos deben de estar suficientemente protegidos de influencias no deseadas, intencionadas o no (fallos en la programación, intrusos, situaciones inesperadas, etc.).

Garantizar la seguridad en los accesos

Restringiendo zonas de programa comprometidas a usuarios no autorizados, registrando todos los accesos y acciones llevadas a cabo por cualquier operador.

Posibilidad de programación numérica

Permite realizar cálculos aritméticos de elevada resolución sobre la CPU del ordenador (lenguajes de alto nivel, C y Visual Basic, generalmente).

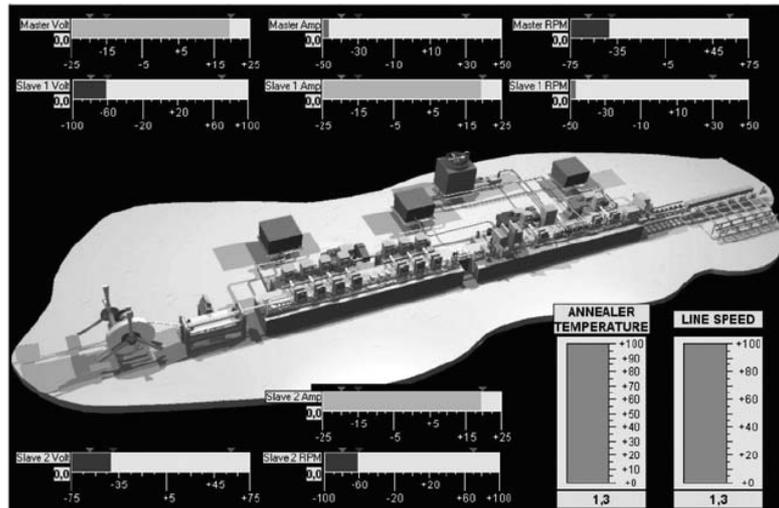


Figura # 2. 9: Línea de extrusión (realizado con WinCC, Siemens)

Fuente: Rodríguez Penin, A. (2008).

2.3.4.3. Ventajas del sistema scada

Cuando se habla de un sistema SCADA no hay que olvidar que hay algo más que las pantallas que informan de cómo van las cosas en la instalación. Tras éstas se encuentran multitud de elementos de regulación y control, sistemas de comunicaciones y múltiples utilidades de software que pretenden que el sistema funcione de forma eficiente y segura.

Las ventajas más evidentes de los sistemas de control automatizado y supervisado (SCADA) podemos enumerarlas a continuación:

- El actual nivel de desarrollo de los paquetes de visualización permite la creación de aplicaciones funcionales sin necesidad de ser un experto en la materia.

- Un sistema PLC está concebido para trabajar en condiciones adversas proporcionando robustez y fiabilidad al sistema que controla.
- La modularidad de los autómatas permite adaptarlos a las necesidades actuales y ampliarlos posteriormente si es necesario.
- Cualquier tipo de sensores y actuadores puede integrarse en un programa de PLC mediante las múltiples tarjetas de adquisición disponibles (tensión, corriente, sondas de temperatura, etc.).
- Gracias a las herramientas de diagnóstico se consigue una localización más rápida de errores. Esto permite minimizar los periodos de paro en las instalaciones y repercute en la reducción de costes de mantenimiento.
- Un sistema de control remoto (RTU) puede definirse de manera que pueda funcionar de forma autónoma, aún sin comunicaciones con la estación maestra.
- El concepto de telemantenimiento permite realizar modificaciones de software en las estaciones remotas (RTU) desde el centro de control.
- Los programas de control pueden documentarse convenientemente de manera que puedan ser fácilmente interpretados por los técnicos de mantenimiento.
- Un conjunto de manuales de usuario y documentación técnica adecuados permitirán el manejo satisfactorio por terceras personas.

- Los sistemas de diagnóstico implementados en los elementos de control informan continuamente de cualquier incidencia en los equipos.
- Los programas de visualización pueden presentar todo tipo de ayuda al usuario, desde la aparición de una alarma hasta la localización de la causa o la parte de esquema eléctrico implicada en la misma. Esto permite reducir los tiempos de localización de averías al proporcionarse información sobre el origen y las causas de los fallos.
- Generación y distribución automática de documentación. El sistema de visualización puede recoger los datos del autómeta y presentarlos en formatos fácilmente exportables a otras aplicaciones de uso común, tales como hojas de cálculo.
- Haciendo uso de las tecnologías celulares (GSM, GPRS, UMTS), los sistemas de control pueden mantener informados sobre cualquier incidencia a los operadores responsables de los mismos mediante mensajes de correo electrónico o de voz.
- La integración de sistemas es rápida gracias a los sistemas de comunicación estandarizados.
- La tecnología Web permite el acceso desde cualquier punto geográfico a nuestro sistema de control.
- Los protocolos de seguridad permiten una gestión segura y eficiente de los datos, limitando el acceso a personas no autorizadas.

- Aumento de calidad del producto mediante las herramientas de diagnóstico. El operador es notificado en el momento en que se detecta una incidencia.
- La reducción de personal permite menor número de equipos de mantenimiento, más reducidos y mejor coordinados gracias a la información proveniente de las estaciones remotas, evaluada en el centro de control.
- Posibilidad de mantenimiento por parte de suministradores locales de servicios.
- El nivel de descentralización va en aumento, apostando por la modularidad. Esto permite una mayor disponibilidad, pues las funciones de control se pueden repartir y/o duplicar.
- La distribución de recursos y control sobre la red permite una mejor coordinación entre las estaciones remotas en caso de fallos en una de ellas.
- Mediante las redes de comunicación, el sistema Scada se integra en la red corporativa, permite la integración entre los niveles de Campo y Gestión y completa así la estructura CIM (*Computer Integrated Manufacturing*).

2.3.4.4. El entorno

La automatización de sistemas, desde el estado inicial de aislamiento productivo, ha pasado a formar parte del ámbito corporativo y se engloba dentro del paquete empresarial con la finalidad de optimizar la

productividad y mejorar la calidad. El esquema que representa los flujos de información dentro de la empresa y representa cómo se realiza la integración a todos los niveles es similar a la conocida pirámide de la automatización CIM (*Computer Integrated Manufacturing*).

Presenta la estructura corporativa dividida en tres niveles, que engloban las funciones principales que se desarrollan en cada uno de ellos:

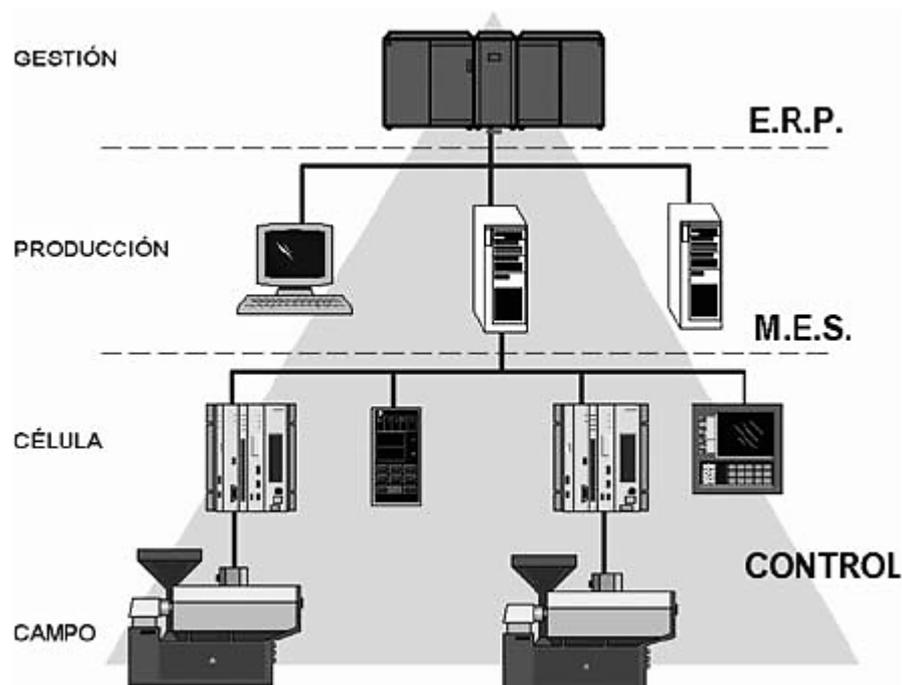


Figura # 2. 10: Principio de Redundancia

Fuente: Rodríguez Penin, A. (2008).

ERP (*Enterprise Resource Planning o Planificación de Recursos Empresariales*) engloba la parte de gestión: finanzas, compras, ventas, logística.

MES (Manufacturing Execution System o Gestión de la Producción):

comprende la gestión de calidad, documentación, gestión de producción, mantenimiento y optimización.

CONTROL: engloba toda la parte de automatización y control de procesos.

Estos niveles engloban los diferentes flujos de información que se dan entre los elementos de cada uno de ellos (comunicación horizontal) y el intercambio de información que se da entre los diferentes niveles (comunicación vertical).

La finalidad de este organigrama es disponer de la máxima información posible sobre el estado operativo global de la empresa para planificar las acciones de producción:

- Conocer la demanda prevista para planificar la producción a corto, medio y largo plazo, y coordinar compras y logística (ERP).
- Conocer las existencias de material disponibles para aplicar en el proceso productivo y decidir si hay que planificar nuevas compras (MES, Gestión de Almacén).
- Coordinar los ciclos de Mantenimiento Preventivo para conocer la disponibilidad de maquinaria y la capacidad operativa durante el tiempo de producción previsto (MES, Mantenimiento).
- Conocer el estado operativo de planta (CONTROL, Scada).

En el caso de relación con el exterior (proveedores de producto necesario para el desarrollo del proceso) la comunicación se extiende hacia fuera (SCM, Supply Chain Management, Gestión de Suministros).

Este concepto es viable gracias a la aplicación generalizada de los principios de estandarización y escalabilidad a todos los niveles (comunicaciones, interfaces, tratamiento de los datos y automatización).

Los tres niveles no tienen límites claramente definidos. Las herramientas ERP van asimilando capacidades propias del nivel MES de la misma manera que las aplicaciones de Control (Scada) van adquiriendo prestaciones del nivel superior (MES) al disponer de herramientas de comunicación con bases de datos y con aplicaciones internas y externas.

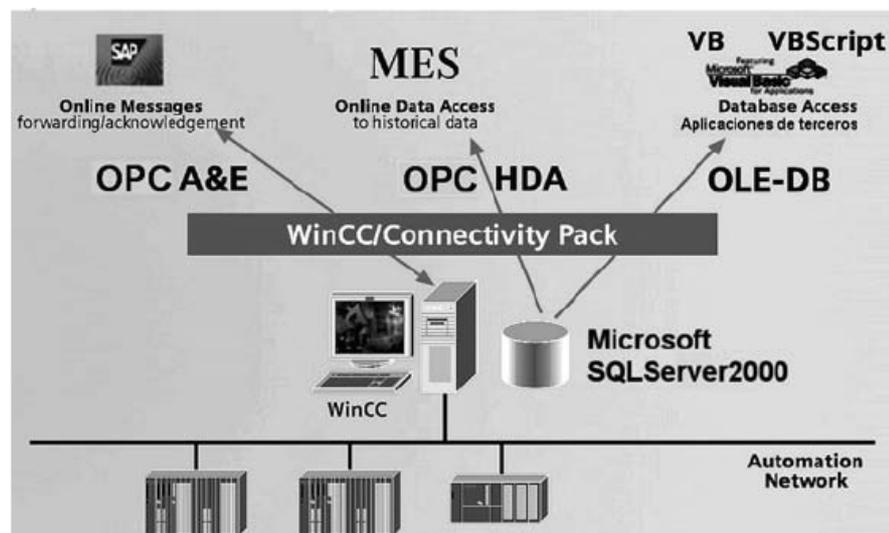


Figura # 2. 11: Conectividad al nivel de Empresa con WinCC (Siemens).

Fuente: Rodríguez Penin, A. (2008).

Por ejemplo, el paquete WinCC (Siemens) dispone de un servidor OPC DA (Data Access) que permite el acceso a todas las variables del sistema y a variables archivadas. De esta manera es posible transferir los datos de proceso y de producción hacia arriba dentro del sistema de información empresarial.

2.3.5. Arquitectura de un sistema SCADA

El desarrollo del ordenador personal ha permitido su implantación en todos los campos del conocimiento y a todos los niveles imaginables.

Las primeras incursiones en el campo de la automatización localizaban todo el control en el PC y tendían progresivamente a la distribución del control en planta. De esta manera, el sistema queda dividido en tres bloques principales:

- Software de adquisición de datos y control (Scada).
- Sistemas de adquisición y mando (sensores y actuadores).
- Sistema de interconexión (comunicaciones).

El usuario, mediante herramientas de visualización y control, tiene acceso al Sistema de Control de Proceso, generalmente un ordenador donde reside la aplicación de control y supervisión (se trata de un sistema servidor). La comunicación entre estos dos sistemas se suele realizar a través de redes de comunicaciones corporativas (Ethernet).

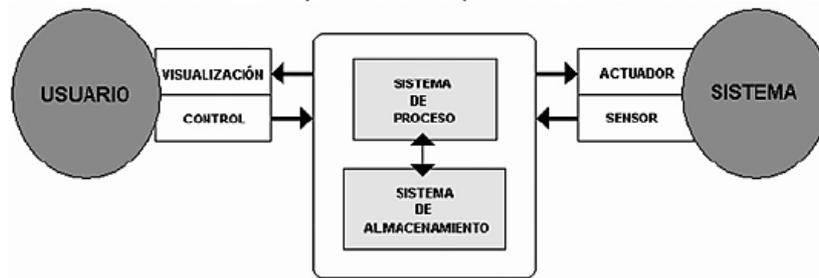


Figura # 2. 12: Estructura básica de un sistema de supervisión y mando.

Fuente: Rodríguez Penin, A. (2008).

El Sistema de Proceso capta el estado del Sistema a través de los elementos sensores e informa al usuario a través de las herramientas HMI. Basándose en los comandos ejecutados por el Usuario, el Sistema de Proceso inicia las acciones pertinentes para mantener el control del Sistema a través de los elementos actuadores.

La transmisión de los datos entre el Sistema de Proceso y los elementos de campo (sensores y actuadores) se lleva a cabo mediante los denominados buses de campo. La tendencia actual es englobar los sistemas de comunicación en una base común, como Ethernet Industrial. Toda la información generada durante la ejecución de las tareas de supervisión y control se almacena para disponer de los datos a posteriori.

Mediante el software de adquisición de datos y control, el mundo de las máquinas se integra directamente en la red empresarial, pasando a formar parte de los elementos que permitirán crear estrategias de empresa globales. Aparece el concepto de Fabricación Integral Informatizada (*Computer Integrated Manufacturing*).

Un sistema Scada es una aplicación de software especialmente diseñada para funcionar sobre ordenadores en el control de producción que proporciona

comunicación entre los dispositivos de campo, llamados también RTU (*Remote Terminal Units o Unidades Remotas*), donde se pueden encontrar elementos tales como controladores autónomos o autómatas programables, y un centro de control o Unidad Central (*MTU, Master Terminal Unit*), donde se controla el proceso de forma automática desde la pantalla de uno o varios ordenadores.

La estructura funcional de un sistema de visualización y adquisición de datos obedece generalmente a la estructura Maestro-Eslavo. La estación central (el maestro o master) se comunica con el resto de estaciones (esclavos o slaves) requiriendo de éstas una serie de acciones o datos.

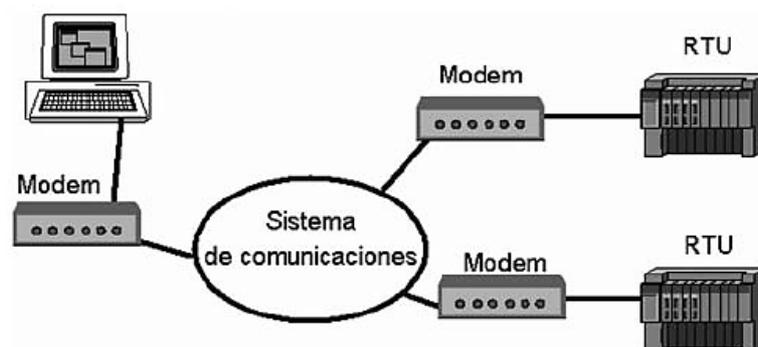


Figura # 2. 13: Idea básica de Sistema Scada.

Fuente: Rodríguez Penin, A. (2008).

2.3.6. El Hardware de un sistema SCADA

Un sistema Scada, a escala conceptual, está dividido en dos grandes bloques:

- **Captadores de datos:** recopilan los datos de los elementos de control del sistema (por ejemplo, autómatas, reguladores, registradores) y los procesan para su utilización. Son los servidores del sistema.

- **Utilizadores de datos:** los que utilizan la información recogida por los anteriores, como pueden ser las herramientas de análisis de datos o los operadores del sistema. Son los clientes.

Mediante los Clientes los datos residentes en los servidores pueden evaluarse, permitiendo realizar las acciones oportunas para mantener las condiciones nominales del sistema.

Mediante los denominados buses de campo, los Controladores de proceso (generalmente autómatas programables o sistemas de regulación) envían la información a los Servidores de datos (Data Servers), los cuales, a su vez, intercambian la información con niveles superiores del sistema automatizado a través de redes de comunicaciones de Área Local.

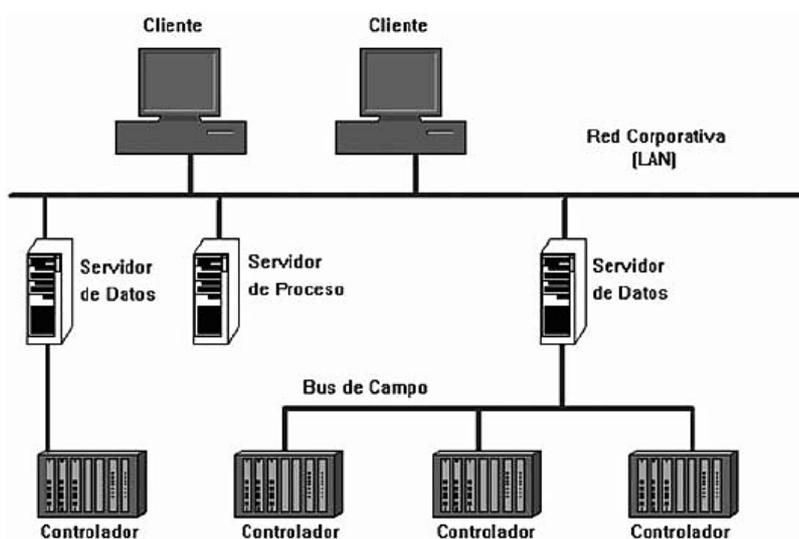


Figura # 2. 14: Scada, arquitectura básica de hardware.

Fuente: Rodríguez Penin, A. (2008).

Estos sistemas están formados por los siguientes elementos básicos:

- Interface Hombre-Máquina
- Unidad Central

- Unidad Remota
- Sistema de Comunicaciones

2.3.6.1. El entorno Interface Hombre- Máquina (HMI, MMI)

Comprende los sinópticos de control y los sistemas de presentación gráfica. La función de un Panel Sinóptico es la de representar, de forma simplificada, el sistema bajo control (un sistema de aprovisionamiento de agua, una red de distribución eléctrica, una factoría).

En un principio los paneles sinópticos eran de tipo estático, colocados en grandes paneles plagados de indicadores y luces. Con el tiempo han ido evolucionando, junto al software, en forma de representaciones gráficas en pantallas de visualización (PVD, Pantallas de Visualización de Datos). En los sistemas complejos suelen aparecer los terminales múltiples, que permiten la visualización, de forma simultánea, de varios sectores del sistema. De todas formas, en ciertos casos, interesa mantener la forma antigua del Panel Sinóptico, pues la representación del sistema completo es más clara para el usuario al tenerla presente y no le afectan los eventuales fallos de alimentación de componentes o de controladores gráficos.

2.3.6.2. Unidad central (MTU, Master Terminal Unit)

Centraliza el mando del sistema. Se hace uso extensivo de protocolos abiertos, lo cual permite la interoperabilidad de multiplataforma y multisistemas. Un sistema de este tipo debe de estar basado en estándares asequibles a bajo precio para cualquier parte interesada. De esta manera es posible intercambiar información en tiempo real entre centros de control y subestaciones situadas en cualquier lugar.

En el Centro de Control se realiza, principalmente, la tarea de recopilación y archivado de datos. Toda esta información que se genera en el proceso productivo se pone a disposición de los diversos usuarios que puedan requerirla. Se encarga de:

- Gestionar las comunicaciones.
- Recopilar los datos de todas las estaciones remotas (RTU).
- Envío de información.
- Comunicación con los Operadores.
- Análisis.
- Impresión.
- Visualización de datos.
- Mando.
- Seguridad.

Estas tareas están encomendadas a equipos informáticos con funciones específicas y exclusivas, tales como:

- Almacenar Datos (Database Server): se ocupa del archivado de datos para el proceso posterior de los mismos mediante herramientas de representación gráfica o de análisis estadístico.
- Almacenar archivos (File Server): almacena los resultados de los análisis de los datos recogidos, guarda los datos concernientes a los eventos del sistema, datos de configuraciones, alarmas, etc.
- Administración: permite la gestión y el mantenimiento del sistema Scada, controlar los sistemas de seguridad, modificar la configuración de las tareas de backup, etc.
- Comunicaciones: permite el intercambio de datos en tiempo real con estaciones remotas. Éste es un punto de entrada y salida de datos, por tanto, debe prestarse especial atención a la seguridad y protegerlo de accesos no autorizados.

2.3.6.3. Unidad Remota (RTU, Remote Terminal Unit)

Por Unidad o Estación Remota, podemos entender aquel conjunto de elementos dedicados a labores de control y/o supervisión de un sistema, alejados del Centro de Control y comunicados con éste mediante algún canal de comunicación. Dentro de esta clasificación podemos encontrar varios elementos más o menos diferenciados: *RTU (Remote Terminal Unit)*: especializados en comunicación. *PLC (Programmable Logic Controller)*: tareas generales de control. *IED (Intelligent Electronic Device)*: tareas específicas de control.

RTU

Las Unidades Remotas se encargaban en un principio de recopilar los datos de los elementos de campo (Autómatas reguladores) y transmitirlos hacia la Unidad Central, a la vez que enviar los comandos de control a éstos. Serían los denominados Procesadores de Comunicaciones.

Suelen estar basadas en ordenadores especiales que controlan directamente el proceso mediante tarjetas convertidoras adecuadas o que se comunican con los elementos de control (PLC, Reguladores) mediante los protocolos de comunicación adecuados. Su construcción es más robusta, son operativos dentro de un rango de temperaturas mayor que los ordenadores normales, y su robustez eléctrica también es mayor (transitorios de red, variaciones de alimentación, interferencias electromagnéticas).

Con la introducción de sistemas inteligentes aparecen también las funciones de recogida y proceso de datos, así como de seguridad ante accesos sin autorización o situaciones anómalas que puedan perjudicar al funcionamiento de la estación y provocar daños en sus componentes.

El software de estos elementos suele estar elaborado en lenguajes de alto nivel (C, VisualBasic, Delphi) que permiten interpretar los comandos provenientes de la estación Maestra (Master Terminal Unit).

PLC

Los controladores lógicos programables o PLC (Programmable Logic Controller), empezaron como sistemas de dedicación exclusiva al control de instalaciones, máquinas o procesos. Con el tiempo han ido evolucionando, incorporando cada vez más prestaciones en forma de módulos de ampliación, entre ellos los Procesadores de Comunicaciones,

que han hecho desvanecerse la línea divisoria entre RTU y PLC, quedando incluidas todas las prestaciones en el PLC.

A su vez, los PLC pueden tener elementos distribuidos con los cuales se comunican a través de sistemas de comunicación llamados Buses de Campo.

IED

Son los denominados periféricos inteligentes (*Intelligent Electronic Devices*). Se trata de elementos con propiedades de decisión propias (programas) que se ocupan de tareas de control, regulación y comunicación. Dentro de esta clasificación se pueden encontrar elementos tales como PCL, Reguladores, Variadores de frecuencia, Registradores, Procesadores de comunicaciones, Generadores de tiempo y frecuencia, Controladores de energía reactiva, Transductores, etc.

Sistemas Remotos

Hoy día una estación remota no es necesariamente un autómatas con capacidades de comunicación controlando una compuerta de un embalse. Puede tratarse de un gran sistema complejo que forme parte, a su vez, de un sistema de control mucho más extenso, como el control de distribución eléctrica de un país, donde las estaciones remotas pueden tener a su cargo una ciudad entera o controlar la distribución regional.

En este caso, la estación remota tiene implementadas funciones de control, interface hombre-máquina, adquisición de datos, control de bases de datos, protocolos de seguridad y comunicaciones internas entre subsistemas.

En la figura, por ejemplo, se puede observar una subestación de control de una depuradora dentro del sistema de distribución y gestión de agua para consumo de una región determinada.

La subestación está protegida de dos maneras:

Hardware: funcionan como barreras físicas; desde la valla de protección de los recintos y los sistemas de vigilancia, hasta las llaves de las salas de control o de los armarios que contienen los elementos de mando (PLC).

Software: son barreras lógicas. Los accesos desde dentro, no autorizados, se evitan mediante sistemas de contraseñas en los equipos. Los accesos desde fuera, mediante dispositivos especiales que limitan el acceso (Cortafuegos o firewalls).

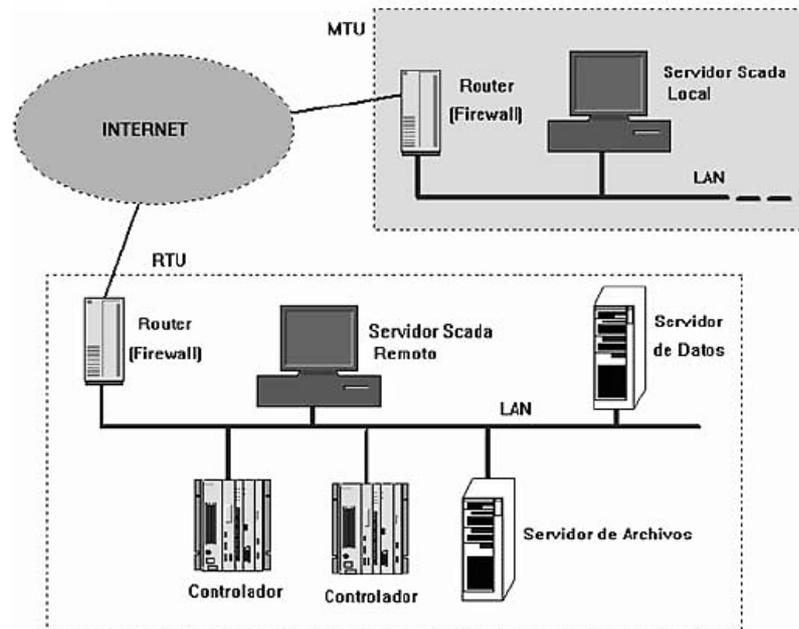


Figura # 2. 15: Arquitectura general de una RTU.

Fuente: Rodríguez Penin, A. (2008).

2.3.6.4. *Sistema de Comunicación*

El intercambio de información entre servidores y clientes se basa en la relación de productor-consumidor.

Los servidores de datos interrogan de manera cíclica a los elementos de campo (polling), recopilando los datos generados por registradores, autómatas, reguladores de proceso, etc.

Gracias a los controladores suministrados por los diferentes fabricantes y a su compatibilidad con la mayoría de estándares de comunicación existentes (léase buses de campo), es posible establecer cualquier tipo de comunicación entre un servidor de datos y cualquier elemento de campo.

Un servidor de datos puede gestionar varios protocolos de forma simultánea, estando limitado por su capacidad física de soportar las interfaces de hardware (las popularmente conocidas tarjetas de comunicación). Éstas permiten el intercambio de datos bidireccional entre la Unidad Central y las unidades remotas (RTU) mediante un protocolo de comunicaciones determinado y un sistema de transporte de la información para mantener el enlace entre los diferentes elementos de la red:

- Línea telefónica, dedicada o no.
- Cable coaxial.
- Fibra óptica.
- Telefonía celular (GPRS, UMTS).
- Radio (enlaces de radio VHF, UHF, Microondas).

2.3.7. El Software de un sistema SCADA

Un programa del tipo HMI se ejecuta en un ordenador o Terminal gráfico y unos programas específicos le permiten comunicarse con los dispositivos de control de planta (hacia abajo) y los elementos de gestión (hacia arriba). Estos programas son lo que denominamos controladores (o driver) de comunicaciones.

Una parte del paquete (propia o de terceros) contiene todos los controladores de comunicación entre nuestra aplicación y el exterior, ocupándose de gestionar los enlaces de comunicación, tratamiento de la información a transferir y protocolos de comunicación (Profibus, AS-i, Can, Ethernet...).

Por lo general son programas de pago, debemos conseguir licencias de utilización para poder trabajar con ellos.

El driver realiza la función de traducción entre el lenguaje del programa SCADA y el del Autómata (hacia abajo, por ejemplo, Profibus), o entre el SCADA y la red de gestión de la empresa (hacia arriba, con Ethernet, por ejemplo).

Generalmente la configuración del controlador de comunicaciones se realiza durante la instalación del software principal o como programa de acceso externo al ejecutar la aplicación principal.

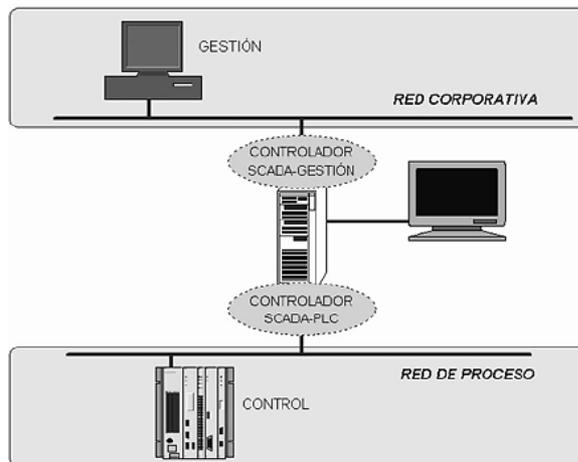


Figura # 2. 16: Concepto de driver, o controlador.

Fuente: Rodríguez Penin, A. (2008).

Según la importancia del sistema, es posible especializar componentes, realizando tareas exclusivas dentro del sistema de control (servidores de datos, de alarmas, de históricos, de interface hombre-máquina, etc.). Una vez los datos de planta se han procesado, pueden transferirse a otras aplicaciones de software, tales como hojas de cálculo o bases de datos. Esto es lo que se podría denominar gestión de datos, que permite analizar eventos, alarmas, emergencias, etc., ocurridos durante la producción.

En un programa SCADA se tiene dos bloques bien diferenciados: el programa de desarrollo y el programa de ejecución o *Run-time*.

- **El programa de Desarrollo** engloba las utilidades relacionadas con la creación y edición de las diferentes ventanas de la aplicación, así como sus características (textos, dibujos, colores, propiedades de los objetos, programas, etc.).

- El programa **Run-time** permite ejecutar la aplicación creada con el programa de desarrollo (en Industria se entrega, como producto acabado, el Run-time y la aplicación).

En el siguiente gráfico se puede observar una aproximación al funcionamiento interno de una aplicación de supervisión.

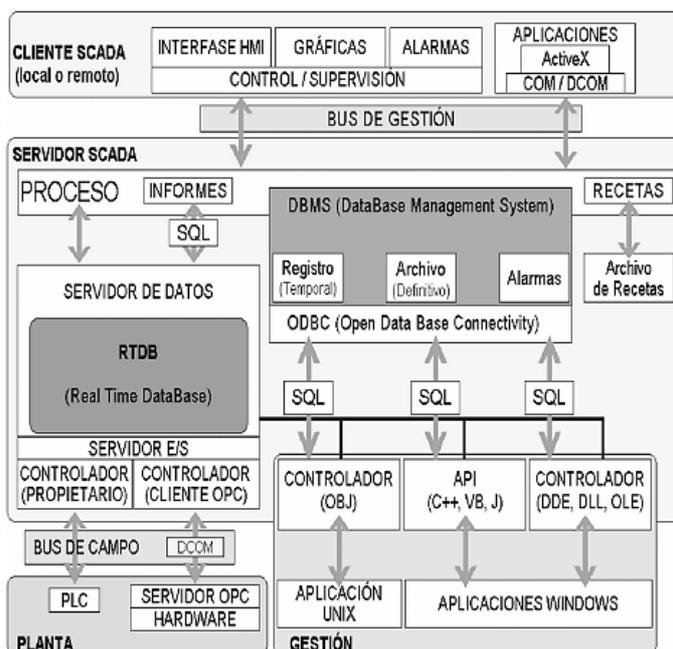


Figura # 2. 17: Arquitectura general de software.

Fuente: Rodríguez Penin, A. (2008).

2.3.7.1. Comunicación entre Aplicaciones

Los métodos de intercambio de información entre aplicaciones informáticas más conocidos son:

OPC

El estándar de intercambio de datos por excelencia se denomina OPC (OLE for Process Control). Es un estándar abierto que permite un método

fiable para acceder a los datos desde aparatos de campo. El método de acceso siempre es el mismo, sin depender del tipo y origen de los datos.

Se basa en la tecnología COM (Component Object Model), de Microsoft, que permite definir cualquier elemento de campo mediante sus propiedades, convirtiéndolo en una interface. De esta manera es posible conectar fácilmente cualquier elemento de campo con un servidor de datos local (COM), o remoto (DCOM).

Los componentes OPC se pueden clasificar en clientes o servidores:

- **Cliente OPC (OPC client):**

Es una aplicación que sólo utiliza datos, tal como hace un paquete SCADA.

Cualquier cliente OPC se puede comunicar con cualquier servidor OPC sin importar el tipo de elemento que recoge esos datos (el aspecto que veremos, desde el punto de vista de los datos, será siempre similar, sin importar el fabricante del equipo).

- **Servidor OPC (OPC server)**

Es una aplicación que realiza la recopilación de datos de los diversos elementos de campo de un sistema automatizado y permite el acceso libre a estos elementos desde otras aplicaciones que los soliciten (clientes OPC).

ODBC

Mediante ODBC (Open Data Base Connectivity), también de Microsoft Windows, se tiene un estándar que permite a las aplicaciones el acceso a datos en Sistemas de Gestión de Bases de Datos (Data Base Management

Systems) utilizando SQL como método estándar de acceso. ODBC permite que una aplicación pueda acceder a varias bases de datos mediante la inclusión del controlador correspondiente en la aplicación que debe acceder a los datos.

La interface ODBC define:

- Una librería de llamadas a funciones ODBC.
- La sintaxis SQL necesaria. Códigos de error estándar.
- El método de conexión a un Sistema de Gestión de Bases de Datos (DBMS)
- El formato de presentación de los datos

Para acceder a los datos, una aplicación necesita un controlador, que en Windows se llama Librería de Enlace Dinámico (DLL, Dynamic Link Library) y en UNIX recibe el nombre de Objeto (OBJ). ODBC permite definir un estándar que permita el intercambio entre bases de datos y aplicaciones.

SQL

La aparición del estándar por excelencia para la comunicación con bases de datos, SQL (*Structured Query Language*), permite una interface común para el acceso a los datos por parte de cualquier programa que se ciña al estándar SQL.

El primer SQL aparece en 1986 bajo el nombre: ANSI X3.135-1986. Las posibilidades de esta tecnología incluyen:

- **Procedimientos**

Son bibliotecas de comandos almacenados en la base de datos. Permiten reducir el tráfico de red y simplificar los procedimientos de acceso a los usuarios de las bases de datos.

- **Eventos**

Son comandos que se activan de forma automática bajo unas ciertas condiciones, facilitando el mantenimiento de la integridad de los datos.

- **Replicación**

Permite la duplicación y sincronización de bases de datos. Por ejemplo, para actualizar los datos de la base de datos central con los almacenados en una unidad remota (RTU), más actuales, o para actualizar un servidor de datos que ha quedado temporalmente fuera de servicio y se vuelve a poner en funcionamiento.

- **Accesibilidad**

Permite el intercambio o envío de información basándose en eventos. Por ejemplo, el envío automático de mensajes cuando se cumplen ciertas condiciones dentro de un sistema.

- **ASCII**

Mediante el formato ASCII, común a prácticamente todas las aplicaciones informáticas, tenemos un estándar básico de intercambio de datos. Es

sencillo exportar e importar datos de configuración, valores de variables, etc.

- **API**

Las herramientas API (*Application Programming Interfaces*) permiten que el usuario pueda adaptar el sistema a sus necesidades mediante rutinas de programa propias escritas en lenguajes estandarizados, tales como Visual Basic, C++, o Java, lo cual les confiere una potencia muy elevada y una gran versatilidad. Permiten el acceso a las bases de datos de los servidores (valores almacenados temporalmente o archivos históricos).

2.4. SISTEMAS DE CONTROL

Un sistema de control ayuda a mantener regulado un conjunto de componentes, regula la conducta de un sistema dependiendo de las situaciones que se presentan en el entorno, todo esto con el fin de obtener un sistema autosuficiente. Las características que posee un sistema de control son los siguientes:

- **Señal de corriente de entrada:** Es el estímulo que recibe el sistema.
- **Señal de corriente de salida:** Es la respuesta otorgada por el sistema.
- **Variable Manipulada:** Es el elemento al cual se le modifica su magnitud, para lograr la respuesta deseada.
- **Variable Controlada:** Es el elemento que se desea controlar.
- **Conversión:** Mediante receptores se generan las variaciones o cambios que se producen en la variable.

- **Variaciones externas:** Son los factores que influyen en la acción de producir un cambio de orden correctivo.
- **Fuente de energía:** Es la que entrega la energía necesaria para generar cualquier tipo de actividad dentro del sistema.
- **Retroalimentación:** La retroalimentación es una característica importante de los sistemas de control de lazo cerrado. Es una relación secuencial de causas y efectos entre las variables del sistema. Dependiendo de la acción correctiva que tome el sistema, éste puede apoyar o no una decisión, cuando en el sistema se produce un retorno se dice que hay una retroalimentación negativa; si el sistema apoya la decisión inicial se dice que hay una retroalimentación positiva.

2.4.1. Objetivos del control automático de procesos

Tradicionalmente, el control de procesos se ha centrado en los niveles inferiores de la jerarquía de control: instrumentación, PID's, estructuras de control, detección y diagnóstico de fallos, etcétera, ligados a unos pocos lazos de control. El objetivo del control es mantener las variables controladas próximas a unos valores de consigna fijados a criterio del personal de operación de la planta. Sin embargo, cada vez en mayor medida, el interés se centra en problemas de control de la planta completa, en los que intervienen muchas unidades de proceso que interaccionan. Asimismo, si la tendencia es mantener la planta en los puntos de operación deseados, lo lógico es que estos sean óptimos de acuerdo con algún criterio de optimización que considere los costos, respetando la calidad u otros factores de la producción, para lo cual se requiere la utilización de modelos coherentes y definir los criterios de optimización.

2.4.2. Sistema de control en lazo abierto y en lazo cerrado

Los sistemas de control son aquellos sistemas que tienden a mantener una relación pre establecida entre la variable de salida (variable controlada) y la referencia. En función del efecto de la retroalimentación pueden clasificarse en sistemas en lazo abierto y sistemas en lazo cerrado.

Sistema de control en lazo abierto

La salida del sistema no tiene efecto sobre la acción de control (no se mide ni se retroalimenta), por lo tanto, no son sistemas de control realimentado.



Figura # 2. 18: Diagrama de bloques de un sistema de lazo abierto

Gómez Sarduy, J. R. (2008).

En estos sistemas para cada entrada de referencia le corresponde una operación determinada, por lo tanto, la exactitud de este depende de su calibración y para que sean útiles deben mantener esa calibración. Cuando ocurre una perturbación, un sistema de control en lazo abierto no cumple su función, ya que no puede corregir su efecto. En la práctica, solo se puede utilizar un sistema de control en lazo abierto cuando se conoce la relación entre la entrada y la salida, de manera que este pueda ser calibrado y si no existen perturbaciones de ningún tipo. Ejemplos de sistemas de control en lazo abierto son todos aquellos controlados por tiempo. Una lavadora de ropa doméstica es un ejemplo práctico de este tipo de sistemas. Todas las operaciones (remojado, lavado y enjuagado) se cumplen por tiempos. La máquina no mide la limpieza de la ropa que constituye, en definitiva, la variable de salida que interesa. Otros ejemplos de sistemas de control en lazo abierto son: las hornillas eléctricas, el horno de una cocina de

gas, los semáforos accionados en función del tiempo, los ventiladores, las embotelladoras de refresco, etcétera.

Sistema de control en lazo cerrado

En estos sistemas, la salida se mide y se retroalimenta, de manera que la salida tiene efecto sobre la acción de control. La diferencia entre la referencia y la variable de salida o realimentación se conoce como señal de error actuante y se utiliza en el controlador para llevar la variable controlada al valor deseado. Estos sistemas son sistemas de control realimentados en los que la acción de realimentación se utiliza para reducir el error del sistema.

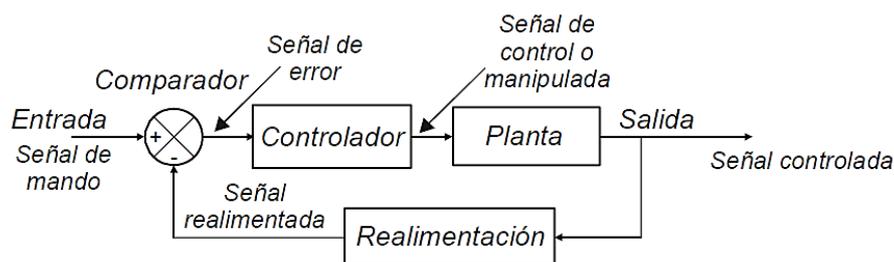


Figura # 2. 19: Diagrama de Bloques de un sistema de control de lazos cerrado

Gómez Sarduy, J. R. (2008).

Los sistemas de control en lazo cerrado pueden ser manuales o automáticos. En los sistemas de control manual, la acción del hombre es la que cierra el lazo, el hombre actúa como controlador. En cambio, los sistemas de control automático poseen un controlador que recibe la señal de los instrumentos de medición y la compara con el valor deseado para generar una señal de error que actúe corrigiendo.

2.4.3. Clasificación general de los sistemas de control

Los sistemas de control se pueden clasificar de las siguientes maneras atendiendo a:

- **Método de análisis y diseño**

Sistemas lineales (sistemas en los cuales puede aplicarse el principio de superposición que establece que la respuesta producida por la aplicación simultánea de dos entradas excitadoras distintas es la suma de las respuestas individuales).

Sistemas no lineales.

- **Tipo de señal**

Sistemas de control continuo (aquellos en los que las señales son funciones de la variable continua de tiempo).

Sistemas de control discretos (las señales se presentan en forma de pulsos, son muestras de la señal continua en intervalos de tiempo específicos, ejemplo: el control mediante computadora o control digital directo).

- **Variación de la variable en el tiempo**

Sistemas variantes en el tiempo, en los que se considera la variación de la variable en el tiempo y la variación de parámetros dinámicos. Ejemplo de ellos es cuando se analiza el comportamiento de un cohete, donde debe tenerse en cuenta que su masa varía en el tiempo con el consumo de combustible.

Sistemas invariantes en el tiempo.

- **Número de entradas y salidas**

Sistemas SISO (una sola entrada y una sola salida).

Sistemas MIMO (múltiples entradas y múltiples salidas).

- **Variación del comportamiento con la distancia**

Sistemas de parámetros distribuidos (aquellos en los que su comportamiento varía con la distancia, ejemplo: una red hidráulica donde el flujo varía con la distancia).

Sistema de parámetros concentrados.

2.4.4. Acciones básicas de control

La forma en que el control automático produce la señal de control se denomina acción de control. En los controles automáticos industriales son muy comunes los siguientes tipos de acciones de control:

- Acción de dos posiciones (ON-OFF).
- Acción proporcional (P).
- Acción integral (I).
- Acción proporcional-integral (PI).
- Acción proporcional-derivativa (PD).
- Acción proporcional-integral-derivativo (PID).

El ajuste a un sistema de control se lo realiza mediante un algoritmo de cálculo con tres parámetros distintos, también denominados acciones, que son: proporcional, integral, y derivativo. La acción de control proporcional (P) da una salida del controlador proporcional al error. La acción integral (I) proporciona una salida del controlador proporcional al error acumulado. La acción de control

derivativa (D) determina la velocidad con que se corrige el error que se produce. Estas tres acciones pueden ser asociadas entre sí dando lugar a controladores de los siguientes tipos: P, I, PI, PD y PID.

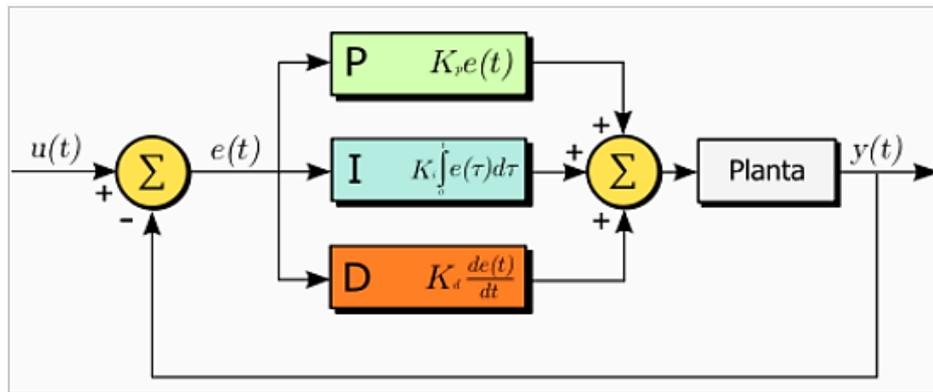


Figura # 2. 20: Diagrama en bloque de un control PID

Fuente: Gómez Sarduy, J. R. (2008).

2.5. MOTORES DE CORRIENTE ALTERNA

2.5.1. Introducción a las máquinas asíncronas de inducción.

Dado que la mayoría de las máquinas utilizadas en la industria están movidas por motores asíncronos alimentados por corriente alterna trifásica, en este apartado daremos unas ideas muy generales y básicas de este tipo de motores.

Como toda máquina eléctrica, los motores asíncronos constan de dos partes fundamentales y distintas:

- **El estator.-** Es la parte fija del motor. Está constituido por una carcasa en la que está fijada una corona de chapas de acero al silicio provistas de unas ranuras. Los bobinados de sección apropiada están dispuestos en dichas ranuras

formando las bobinas que se dispondrán en tantos circuitos como fases tenga la red a la que se conectará la máquina.

- **El rotor.-** Es la parte móvil del motor. Está situado en el interior del estator y consiste en un núcleo de chapas de acero al silicio apiladas que forman un cilindro, en el interior del cual se dispone un bobinado eléctrico. Los tipos más utilizados son:

- Rotor de jaula de ardilla
- Rotor bobinado.

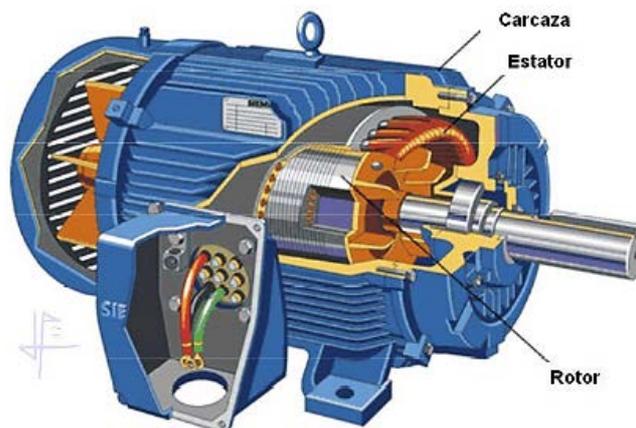


Figura # 2. 21: Partes de los motores asíncronos

Fuente: Garrigós, J. (1 de Noviembre de 2011).

A este tipo de motores se les denomina motores de inducción debido a que su funcionamiento se basa en la interacción de campos magnéticos producidos por corrientes eléctricas. En el caso de los motores a los que hacen referencia estas notas, las corrientes que circulan por el rotor son producidas por el fenómeno de inducción electromagnética, conocido comúnmente como ley de *Faraday*, que establece que si una espira es atravesada por un campo magnético variable en el tiempo se establece entre sus extremos una diferencia de potencial dado por la expresión:

$$e = - \frac{d\phi}{dt}$$

De donde:

e = Diferencia de potencial inducida en la espira en voltios

ϕ = Flujo que corta a la espira en Weber

t = Tiempo en segundos

El signo menos de la ecuación es una expresión de la ley de Lenz. Esta establece que la polaridad del voltaje inducido en la bobina es tal que si sus extremos se pusieran en cortocircuito, produciría una corriente que causaría un flujo para oponerse al cambio de flujo original. Puesto que el voltaje inducido se opone al cambio que lo causa, se incluye el signo menos en la ecuación.

Si se distribuye espacialmente alrededor del estator de un motor los bobinados de un sistema de tensiones trifásicos decaladas 120° se genera un campo magnético giratorio (ya estudiado en el primer trimestre). La velocidad de giro de este campo magnético, **denominada velocidad de sincronismo**, viene dada por la expresión:

$$n = \frac{60 \times f}{p}$$

De donde:

n = Velocidad de giro del campo magnético en r.p.m

f = Frecuencia de la corriente eléctrica de alimentación de la máquina

p = Número de pares de polos magnéticos establecidos en el bobinado del estator

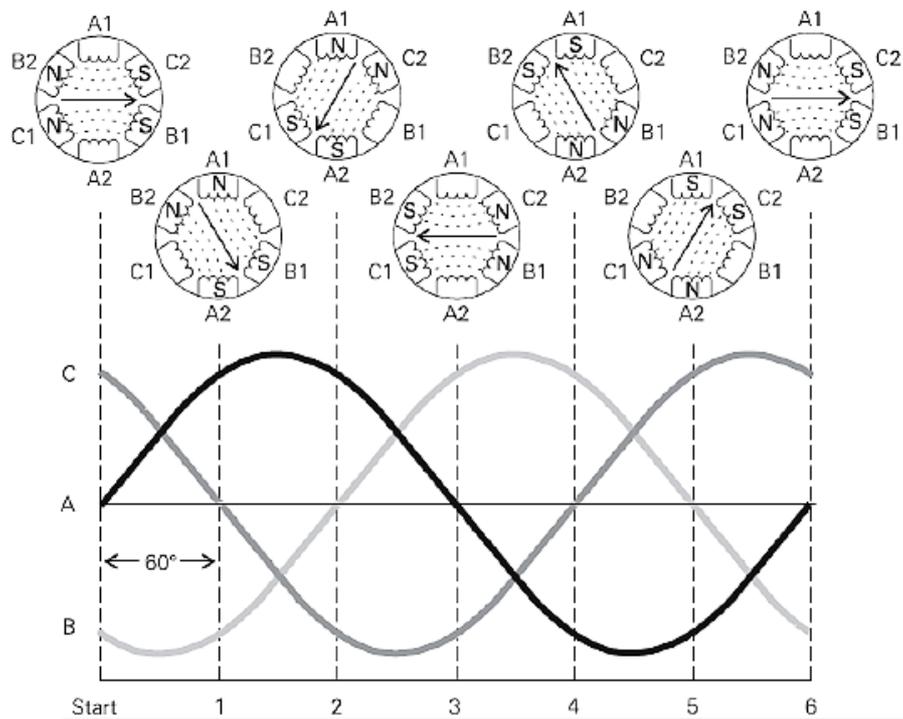


Figura # 2. 22: Campo magnético giratorio creado por una corriente alterna trifásica

Fuente: Garrigós, J. (1 de Noviembre de 2011).

De este modo se tiene que las velocidades de sincronismo normalizadas en el país para las máquinas eléctricas serían:

| Nº pares de polos | r.p.m. del campo magnético |
|-------------------|----------------------------|
| p=2 | n=3600 r.p.m |
| p=4 | n=1800 r.p.m |
| p=6 | n=720 r.p.m |

En los motores eléctricos, la velocidad de giro del rotor es ligeramente inferior a la velocidad de giro del campo magnético del estator, debido a la fricción del rotor en los cojinetes, rozamiento con el aire y a la carga acoplada al eje del rotor, por tal motivo se les conoce a estos motores con el nombre de **motores asíncronos**.

Tal y como se acaba de indicar, la velocidad de giro del rotor es ligeramente inferior a la velocidad de sincronismo, a ésta diferencia se le da el nombre de **deslizamiento** que se expresa generalmente en tanto por ciento, referido a la velocidad de sincronismo. Se designa por la letra “s”, y viene dado por la expresión:

Deslizamiento Absoluto Deslizamiento Relativo

$$s = n_1 - n_2 \qquad s\% = \frac{n_1 - n_2}{n_1} \times 100$$

De donde

s = deslizamiento, n1= velocidad de sincronismo, n2= velocidad de giro del rotor.

La frecuencia a que están sometidos los conductores del rotor es **fr = s * f**
(f =frecuencia en Hz de la red eléctrica de alimentación al motor).

2.5.2. Motores de rotor de jaula de ardilla

El motor de rotor de jaula de ardilla, también llamado de rotor en cortocircuito, es el más sencillo y el más utilizado actualmente. En núcleo del rotor está construido de chapas estampadas de acero al silicio en el interior de las cuales se disponen unas barras, generalmente de aluminio moldeado a presión.

Las barras del devanado van conectadas a unos anillos conductores denominados anillos extremos. El bobinado así dispuesto tiene forma de jaula de ardilla.

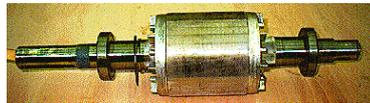
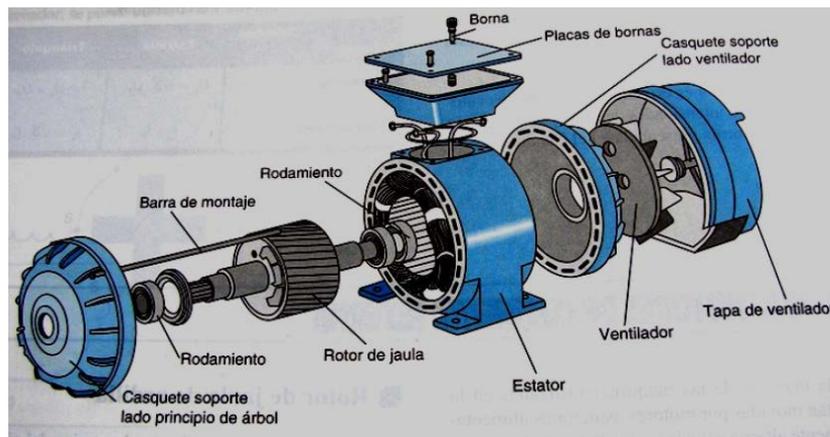


Figura # 2. 23: Rotor jaula de ardilla

Fuente: Garrigós, J. (1 de Noviembre de 2011).

Las ranuras del rotor y suelen hacerse oblicuas respecto al eje para evitar así puntos muertos en la inducción electromagnética.

Un inconveniente de los motores con rotor de jaula de ardilla es que en el arranque absorbe una corriente muy intensa (de 4 a 7 veces la nominal o asignada), y lo hace además con un bajo factor de potencia, y a pesar de ello, el par de arranque suele ser bajo.

La baja resistencia del rotor hace que los motores de jaula de ardilla tengan excelentes características para marchas a velocidad constante.

Hasta hace unos cuantos años (década de los 90), un inconveniente de los motores con rotor de jaula de ardilla era que su velocidad no era regulable, pero actualmente con los variadores de velocidad electrónicos se puede conseguir un control perfecto de la práctica totalidad de parámetros del motor, entre los que destacan el par, la corriente absorbida y la velocidad de giro.

2.5.3. Motores de rotor de anillos rozantes

Son motores asíncronos con un devanado trifásico de cobre dispuesto en las ranuras de rotor, que va conectado a tres anillos metálicos por uno de sus extremos, en tanto que, por el otro lado se conectan en estrella. De este modo se puede controlar desde el exterior la resistencia total del circuito rotórico, facilitando un control de la velocidad y corriente de arranque con un elevado par de arranque y un mejor factor de potencia que con el rotor en jaula de ardilla.

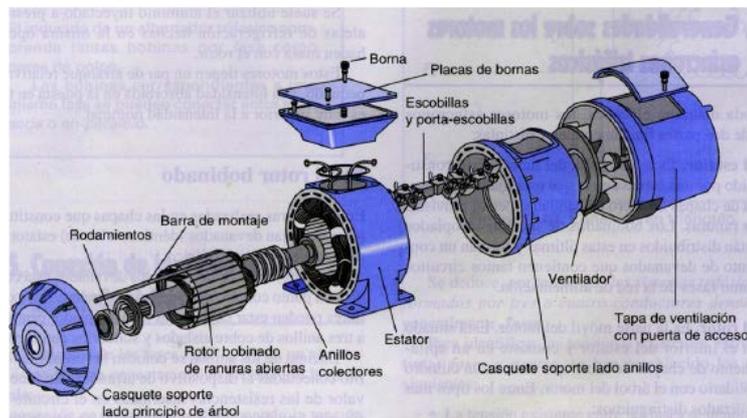


Figura # 2. 24: Rotor de anillos rozantes

Fuente: Garrigós, J. (1 de Noviembre de 2011).

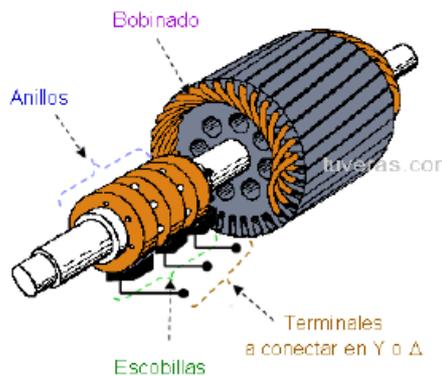


Figura # 2. 25: Rotor de anillos rozantes

Fuente: Garrigós, J. (1 de Noviembre de 2011). (I. A. Vandelvira, Ed.) Recuperado el 1 de Noviembre de 2011

2.5.4. Conexión de los bobinados de un motor eléctrico trifásico

El estator de un motor trifásico suele bobinarse con tres devanados distintos que se corresponden con cada una de las fases a las que habrá de conectarse en la red eléctrica.

Según la forma de conectar las bobinas se pueden obtener dos conexiones:

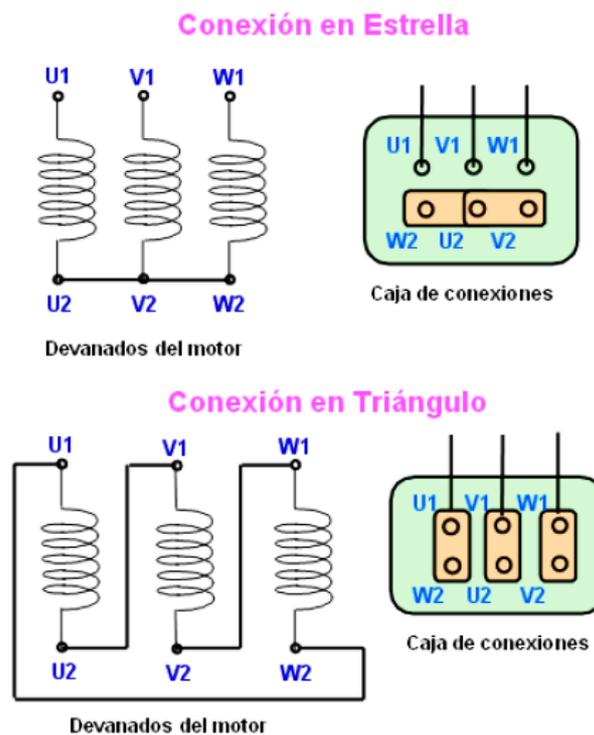


Figura # 2. 26: Conexión de los bobinados de un motor eléctrico trifásico

Fuente: Garrigós, J. (1 de Noviembre de 2011).

La placa de características de un motor trifásico da el valor máximo de la tensión a que se puede conectar el motor a la red eléctrica. Un motor conectado en estrella soporta la tensión más alta que indica la placa, en tanto que en triángulo la tensión máxima a que se puede conectar es la más baja indicada en dicha placa de características. Con las corrientes absorbidas ocurre justo lo contrario, correspondiendo la corriente más alta a la conexión triángulo.

Para cambiar el sentido de giro de un motor basta con intercambiar dos de las fases de alimentación.

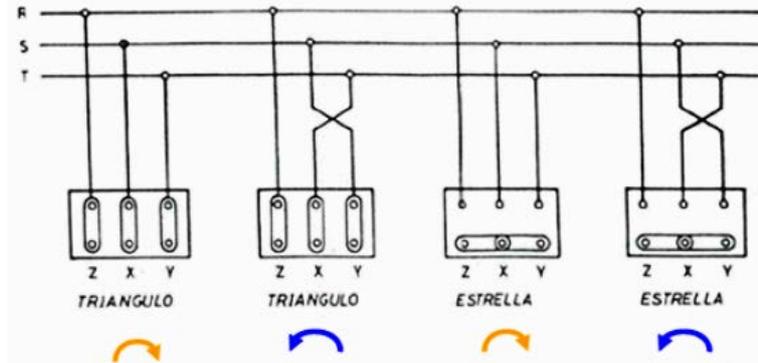


Figura # 2. 27: Conexión para cambiar el giro del motor

Fuente: Garrigós, J. (1 de Noviembre de 2011).

2.5.5. Placa de características de un motor trifásico

El dibujo de la siguiente figura representa un ejemplo de una placa de características que corresponde a un motor trifásico. Seguidamente se analiza en detalle los distintos datos y su significado.

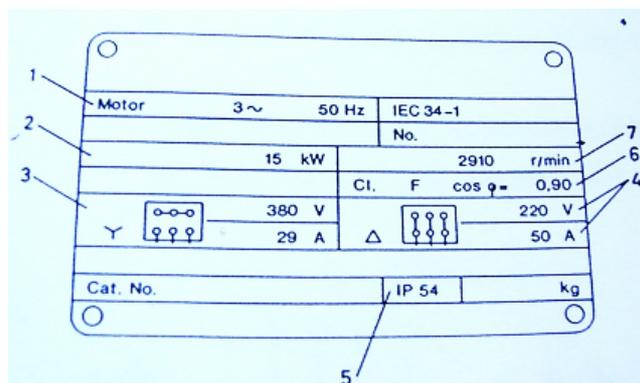


Figura # 2. 28: Placa característica de un motor trifásico

Fuente: Garrigós, J. (1 de Noviembre de 2011).

1. Se trata de un motor trifásico de corriente alterna a 50 Hz.
2. Potencia nominal o asignada en el eje del motor 15 kW. La potencia en CV de vapor será:

$$15Kw \times \frac{1000 w}{1Kw} \times \frac{1CV}{736 w} = 20 CV$$

3. Los bobinados se pueden conectar en estrella hasta una tensión máxima de 380V, circulando en ese caso una corriente por cada línea de alimentación de 29 Amp.

4. En conexión triángulo la tensión compuesta entre las fases de alimentación podrá ser máximo de 220 V, en cuyo caso circulará por cada una de las líneas de alimentación 50 A.

5. Indica el grado de protección de la carcasa del motor contra agentes externos, atendiendo a la clasificación establecida por la IEC (Comisión Electrotécnica Internacional), para el caso que nos ocupa:

- a. IP54: Carcasa protegida a prueba de polvo y proyecciones de agua
- b. IP55: Carcasa protegida a prueba de polvo y chorros de agua

6. Cl F nos indica la clase del motor en lo que se refiere a la máxima temperatura de funcionamiento y tipo de aislamiento, en este caso – clase F-nos indica que puede funcionar hasta una temperatura máxima de 155°C.

Por otro lado, el $\cos \phi = 0,9$ es el factor de potencia, lo que permite calcular la potencia absorbida de la red:

Obtendremos los mismos datos operando con los datos de conexión estrella o de triángulo. Supondremos que la tensión compuesta (entre fases) de la línea de alimentación es 380 V, por tanto:

$$P = \sqrt{3} \times V \times I \times \phi = 1.732 \times 380 \times 29 \times 0.9 = 17,178 W$$

2.6. VARIADOR DE FRECUENCIA

2.6.1. Conceptos y definiciones básicas

Variadores de frecuencia: se trata de dispositivos electrónicos, que permiten el control completo de motores eléctricos de inducción; los hay de c.c. (variación de la tensión), y de c.a. (variación de la frecuencia); los más utilizados son los de motor trifásico de inducción y rotor sin bobinar (jaula de ardilla). También se les puede denominar inversores (*inverter*) o variadores de velocidad.

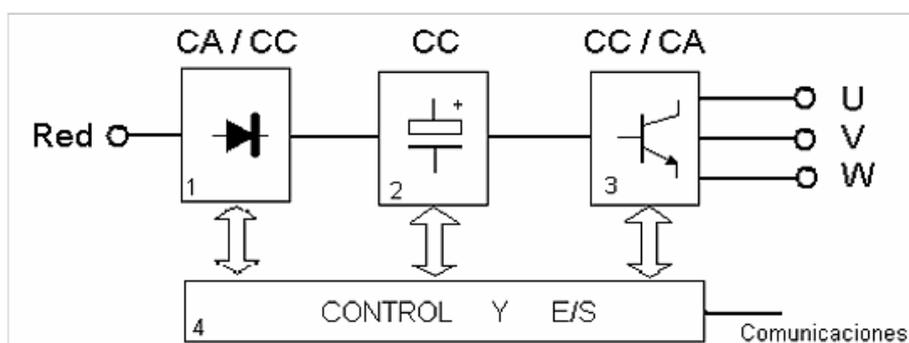


Figura # 2.29: Diagrama en Bloque de un Variador.

Fuente: Calvo, F. S. (s.f.).

1.-Rectificador: partiendo de la red de suministro de c.a., monofásica o trifásica, se obtiene c.c. mediante diodos rectificadores.

2.- Bus de continua: condensadores de gran capacidad (y a veces también bobinas), almacenan y filtran la c.c. rectificada, para obtener un valor de tensión continua estable, y reserva de energía suficiente para proporcionar la intensidad requerida por el motor.

3.- Etapa de salida: desde la tensión del bus de continua, un ondulator convierte esta energía en una salida trifásica, con valores de tensión, intensidad y frecuencia de salida variables. Como elementos de conmutación, se usan

principalmente transistores bipolares (BJT), CMOS o similares, IGBT, tiristores (SCR), GTO... etc. Las señales de salida, se obtiene por diversos procedimientos como troceado, mediante ciclo convertidores, o señales de aproximación senoidal mediante modulación por anchura de impulsos PWM.

4.- Control y E/S: circuitos de control de los diferentes bloques del variador, protección, regulación... y entradas y salidas, tanto analógicas como digitales. Además se incluye el interfaz de comunicaciones con buses u otros dispositivos de control y usuario.

2.6.2. Aplicaciones de los variadores de frecuencia

Los variadores de frecuencia tienen sus principales aplicaciones en los siguientes tipos de máquinas:

- **Transportadoras.** Controlan y sincronizan la velocidad de producción de acuerdo al tipo de producto que se transporta, para dosificar, para evitar ruidos y golpes en transporte de botellas y envases, para arrancar suavemente y evitar la caída del producto que se transporta, etc.
- **Bombas y ventiladores centrífugos.** Controlan el caudal, uso en sistemas de presión constante y volumen variable. En este caso se obtiene un gran ahorro de energía porque el consumo varía con el cubo de la velocidad, o sea que para la mitad de la velocidad, el consumo es la octava parte de la nominal.
- **Bombas de desplazamiento positivo.** Control de caudal y dosificación con precisión, controlando la velocidad. Por ejemplo en bombas de tornillo, bombas de engranajes. Para transporte de pulpa de fruta, pasta, concentrados mineros, aditivos químicos, chocolates, miel, barro, etc.

- **Ascensores y elevadores.** Para arranque y parada suaves manteniendo la cupla del motor constante, y diferentes velocidades para aplicaciones distintas.
- **Extrusoras.** Se obtiene una gran variación de velocidades y control total de de la cupla del motor.
- **Centrífugas.** Se consigue un arranque suave evitando picos de corriente y velocidades de resonancia.
- **Prensas mecánicas y balancines.** Se consiguen arranques suaves y mediante velocidades bajas en el inicio de la tarea, se evitan los desperdicios de materiales.
- **Máquinas textiles.** Para distintos tipos de materiales, inclusive para telas que no tienen un tejido simétrico se pueden obtener velocidades del tipo random para conseguir telas especiales.
- **Compresores de aire.** Se obtienen arranques suaves con máxima cupla y menor consumo de energía en el arranque.
- **Pozos petrolíferos.** Se usan para bombas de extracción con velocidades de acuerdo a las necesidades del pozo.
- **Otras aplicaciones.** Elevadores de cangilones, transportadores helicoidales, continuas de papel, máquinas herramientas, máquinas para soldadura, pantógrafos, máquinas para vidrios, fulones de curtiembres, secaderos de tabaco,

clasificadoras de frutas, conformadoras de cables, trefiladoras de caños, laminadoras, mezcladoras, trefiladoras de perfiles de aluminio, cable, etc.

Trituradoras de minerales, trapiches de caña de azúcar, balanceadoras, molinos harineros, hornos giratorios de cemento, hornos de industrias alimenticias, puentes grúa, bancos de prueba, secadores industriales, tapadoras de envases, norias para frigoríficos, agitadores, cardadoras, dosificadoras, dispersores, reactores, pailas, lavadoras industriales, ilustradoras, molinos rotativos, pulidoras, fresas, bobinadoras y desbobinadoras, arenadoras, separadores, vibradores, cribas, locomotoras, vehículos eléctricos, escaleras mecánicas, aire acondicionado, portones automáticos, plataformas móviles, tornillos sinfín, válvulas rotativas, calandras, tejedoras, chipeadoras, extractores, posicionadores, etc.

2.6.3. Funciones de los variadores de frecuencia

Las principales funciones son:

- Arranque y regulación de velocidad, frenado de desaceleración y frenado de Parada.
- Ahorro de energía.
- Regulador PI (caudal, presión...).
- Protección del motor y del variador.

- Velocidades preseleccionadas, marcha paso a paso (JOG), mando 2 hilos/3 hilos.
- Conmutación de rampas, conmutación de referencias.
- Recuperación automática con selección de velocidad (recuperación al vuelo).
- Limitación automática del tiempo de marcha a pequeña velocidad.
- Visualización de la velocidad en "unidades cliente", etc.

2.6.4. Principales tipos de variadores de Frecuencia

Los variadores son convertidores de energía encargados de modular la energía eléctrica que recibe el motor. Los tipos de variadores más habituales son:

Rectificador controlado.- Suministra corriente continua a partir de una red alterna monofásica o trifásica y controla el valor medio de la tensión. La variación de dicha tensión se obtiene mediante la modificación del ángulo de retardo en el momento del cebado de los semiconductores de potencia. Este tipo de variador se utiliza para alimentar motores de corriente continua, generalmente de excitación separada.

Convertidor de frecuencia.- Suministra tensión alterna a partir de una red alterna monofásica o trifásica de frecuencia fija, con valor eficaz y frecuencia variables según una ley constante. Se utiliza como variador de velocidad para motores asíncronos de jaula.

Regulador de tensión.- Suministra corriente alterna a partir de una red alterna monofásica o trifásica, con la misma frecuencia fija que la red y controlando el valor eficaz de la tensión. La variación de dicha tensión se obtiene mediante la modificación del ángulo de retardo en el momento del cebado de los semiconductores de potencia. Generalmente, se utiliza como arrancador progresivo para motores asíncronos de jaula estándar, siempre que no requieran un par de arranque elevado. Así mismo, puede utilizarse como variador de velocidad para motores asíncronos de resistencias rotatóricas o de anillos.

CAPÍTULO 3

3. METODOLOGÍA

3.1. GUÍA DEL DISEÑO Y MODALIDAD DE LA INVESTIGACIÓN

La metodología utilizada en esta tesis es la de investigación acción; luego de diagnosticar que hacía falta un mecanismo para integrar saberes teóricos y prácticos a escala pequeña, se planeó la elaboración de un banco de pruebas, compuesto por un sistema de almacenamiento, supervisión, control y adquisición de datos, adicionalmente el conjunto de métodos utilizados para ir poco a poco logrando los resultados fueron:

- Método de Análisis y Síntesis.
- Método de la Inducción y Deducción.
- Método de Medición y Observación.

3.2. JUSTIFICACIÓN DE LA ELECCIÓN DEL MÉTODO

Es importante tener en el laboratorio de control y Automatismo de la Facultad Técnica un mecanismo que nos ayude a integrar saberes teóricos y prácticos a escala pequeña es por ello que el elaborar un banco de pruebas de procesos industriales contribuye a la formación del estudiante con el fin de que desarrollen conocimiento, habilidades y destrezas cognitivas que ayuden a fortalecer el aprendizaje tanto teórico como práctico, como también mejorar lo aprendido a lo largo de la carrera especialmente en las asignaturas de instrumentación y automática.

3.3. CONSIDERACIONES DEL DISEÑO.

El diseño del banco de pruebas se basó en los siguientes requerimientos:

- Menor tiempo de prueba.
- Mayor información sobre el comportamiento de los productos.
- Compacto.
- Seguro.
- Mayor confiabilidad.

3.4. REPRESENTACIÓN ESQUEMATIZADA DEL DISEÑO DEL BANCO DE PRUEBAS.

El esquema del diseño consta de dos partes el hardware y el software, en el hardware constan todos los elementos tangibles que utiliza el banco de pruebas como son: El variador de frecuencia, el circuito lógico programable (PLC), los

sensores como el de presión, temperatura, nivel y caudal, bomba centrífuga, motor trifásico, tuberías y tanques.

El software está compuesto por el sistema SCADA (Supervisión, Control y Adquisición de Datos) y la interface HMI (Interface humano máquina).

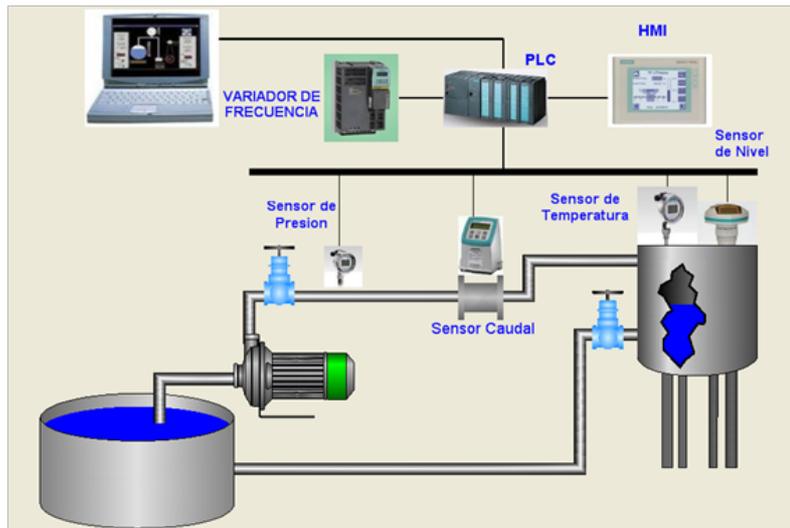


Figura # 3. 1 : Esquema gráfico del diseño del banco de pruebas

Fuente: Héctor Galvis y Humberto Zeas

3.5. ARQUITECTURA DEL MODULO DEL BANCO DE PRUEBAS.

La arquitectura del banco de pruebas estará basada de acuerdo a los siguientes aspectos:

La base estructural del banco de pruebas didáctico será de platinas de ángulos de hierro.

- El banco de pruebas tendrá un tanque de proceso y un tanque de reserva cuyo material será acero inoxidable.
- Un tablero o gabinete eléctrico.

- Bomba Centrífuga.
- Tubería en acero inoxidable.
- Equipos de instrumentación Industriales como caudalímetro, sensores de presión, nivel y temperatura.

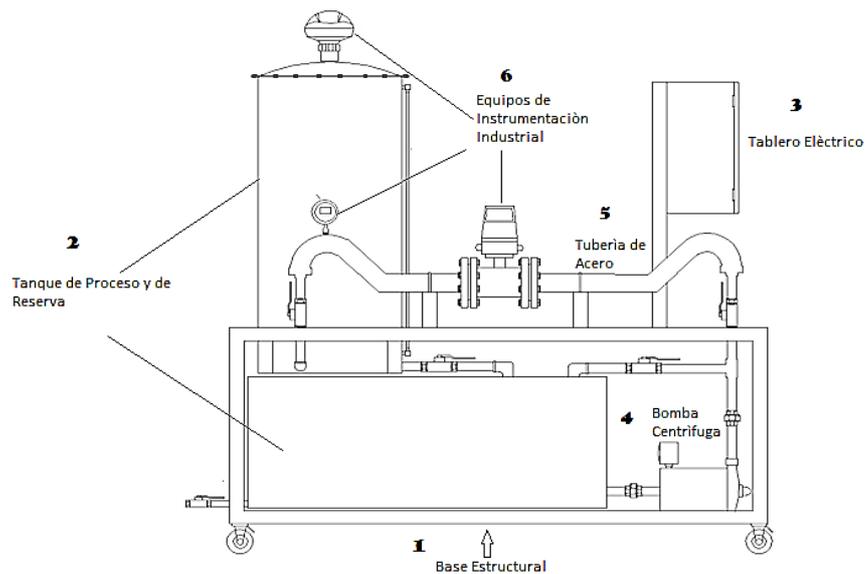


Figura # 3. 2: Arquitectura del banco de prueba

Fuente: Héctor Galvis y Humberto Zeas

3.6. DISEÑO DEL MODULO DIDACTICO

En este capítulo se explicará el diseño y la implementación de un equipo didáctico para medición de cuatro variables y el control de una sola, utilizando varios sensores que deben estar distribuidos de forma que se puedan acceder fácilmente, para realizar las pruebas y las prácticas, en este caso se decidió escoger la del flujo como variable principal, la descripción de este equipo didáctico se dividirá en cuatro sistemas con el fin de facilitar su entendimiento y descripción la figura 3.3 muestra los sistemas que forman parte del equipo didáctico.

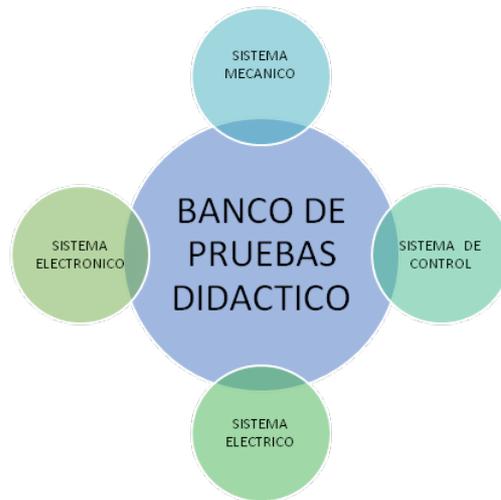


Figura # 3. 3: Sistemas que forman parte del equipo didáctico

Fuente: Héctor Galvis y Humberto Zeas

Como la variable principal y que vamos a controlar es el Flujo, nuestro banco se basará en la circulación de un fluido como el agua que se deberá hacer circular a través de un sensor o medidor de flujo, y para esto se deberá tener un sistema hidráulico compuesto por una bomba centrífuga que moverá el agua, un tanque como reservorio, un tanque elevado que vendría a ser el tanque del proceso en donde estarán los dos sensores que solo harán las medidas de las variables (temperatura, y nivel), también deberá contar con un sistema de tuberías por donde circulara el fluido, un panel metálico que alojara la fuente de alimentación para los sensores y todo esto deberá estar soportado en una base metálica que fuera fácil de mover de un lado a otro.

Para el tratamiento de estas señales proveniente de los sensores se deberá contar con un PLC que se encargara de hacer la medición y el control de las variables y este a su vez tendrá un panel HMI para la visualización y control.

El banco didáctico debe cumplir las siguientes condiciones:

- Ser robusto y compacto, que ocupe el menor espacio posible y pueda soportar el peso con los tanques llenos
- Los materiales de construcción deben ser de buena calidad y resistentes a la corrosión ya que el fluido que se va usar es el agua potable que contiene cloro que es corrosivo.
- Debe ser de fácil manipulación, es decir que puede mover con facilidad a cualquier lado o sitio según las necesidades.
- Debe tener un tanque como reservorio en donde se pueda contener el fluido para ser usado en el proceso.
- Debe tener un tanque elevado que vendría ser el tanque del proceso, que es donde estará el sensor de nivel y el de temperatura.
- Debe poder alojar la bomba centrífuga la cual hará circular el fluido.
- Debe tener un panel metálico en donde se alojaran los accesorios eléctricos necesarios.
- Debe ser totalmente desarmable, ya que esta condición facilitara futuros cambios o mejoras.

3.6.1. ESQUEMA DEL MODULO DIDACTICO.

En la siguiente figura se puede observar un esquema P&D aproximado de cómo debe ser implementado el banco de pruebas.

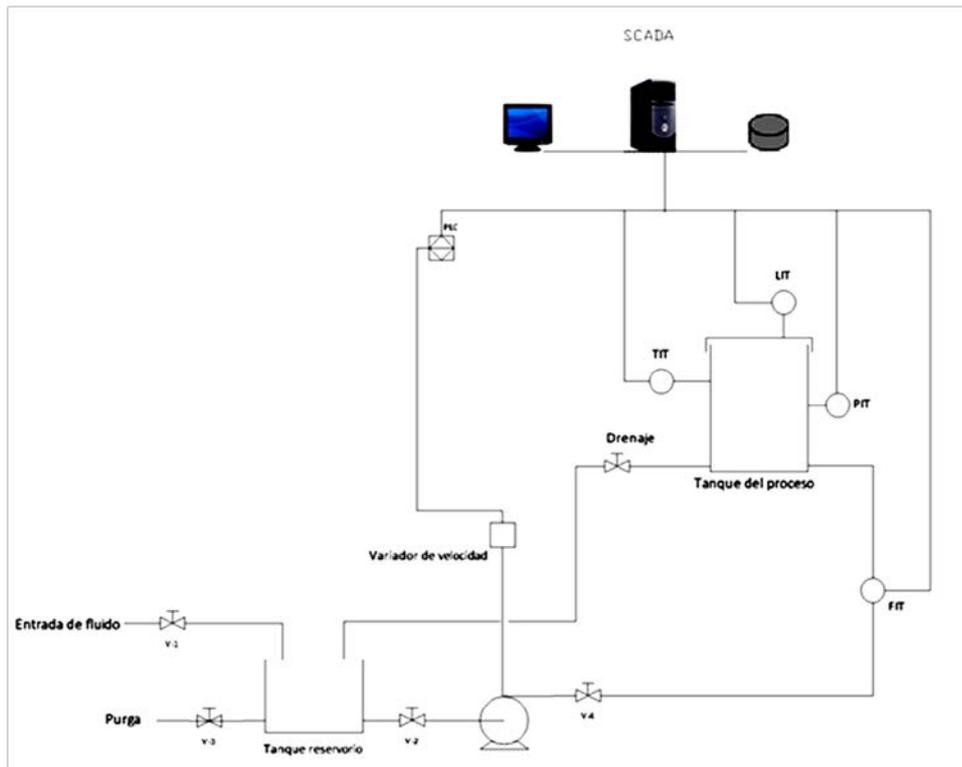


Figura # 3. 4: Esquema del Módulo Didáctico

Fuente: Héctor Galvis y Humberto Zeas

3.6.2. SISTEMA MECANICO.

El sistema mecánico es la parte principal del proceso, a partir d este sistema se procederá a seleccionar y distribuir los equipos de instrumentación y control de tal forma que se pueda acceder con facilidad. El sistema mecánico del equipo didáctico está compuesto en dos partes.

- Sistema Hidráulico.
- Estructura Mecánica.



Figura # 3. 5: Sistema Mecánico

Fuente: Héctor Galvis y Humberto Zeas

3.6.2.1. Estructura Mecánica.

La base estructural del módulo didáctico se construirá de platina de ángulo material de hierro con un acabado de pintura anticorrosiva color verde cuyo espesor de 1 ¼ x 2 ½ x 20 de pulgada debido a que se necesita una estructura robusta capaz de soportar toda la instrumentación y componentes mecánicos que van a contener el equipo didáctico, la estructura mecánica se muestra en la siguiente figura.

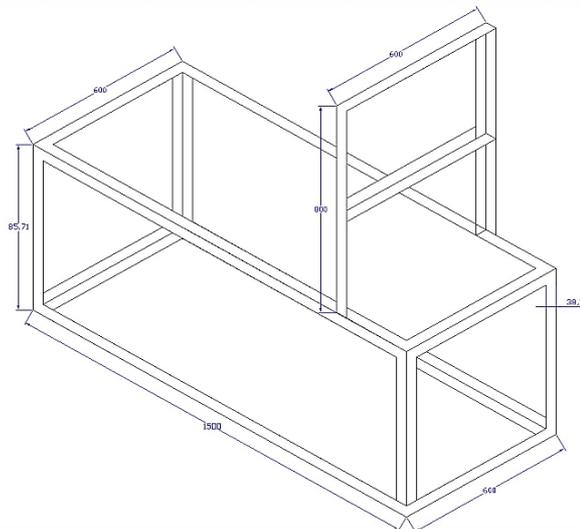


Figura # 3. 6: Estructura Mecánica del modulo didáctico

Fuente: Héctor Galvis y Humberto Zeas

3.6.2.2. Sistema Hidráulico.

El sistema hidráulico es la base del proceso, a partir de este sistema se debe seleccionar y distribuir los equipos de instrumentación de tal forma

que se pueda acceder con facilidad para la conexión eléctrica, la visualización de las lecturas y sobretodo siguiendo las recomendaciones del fabricante, de tal modo que facilite la realización de las practicas ya que se trata de un banco didáctico, este sistema será de tipo realimentación continua lo que significa que el agua circulara por todo el sistema en forma de lazo cerrado, de esta manera se garantiza el abastecimiento constante de la misma.

El banco de pruebas didáctico consta de las siguientes partes del sistema Hidráulico

- Tanque de Proceso.
- Tanque de Reserva
- Tuberías y accesorios.
- Bomba centrifuga
- Válvulas de Paso.
- Sensor de caudal FIT.
- Sensor de nivel LIT.
- Sensor de Presión PIT
- Sensor de Temperatura TIT.

3.6.2.2.1. Selección de los sensores

Primeramente debemos seleccionar los sensores que deben ser instalados en el banco de pruebas, estos fueron facilitados por el laboratorio de instrumentación y control de la Facultad Técnica de la Universidad Católica Santiago de Guayaquil.

| ITEM | MODELO | FABRICANTE | DESCRIPCION |
|------|-----------------------|------------|-----------------------------------|
| 1 | SITRANS FM MAG 5100 W | SIEMENS | Sensor de caudal electromagnético |
| 2 | SITRANS PROBE LU | SIEMENS | Sensor ultrasónico de nivel |
| 3 | SITRANS P SERIEES ZD | SIEMENS | Sensor de presión |
| 4 | SITRANS TF2 | SIEMENS | Sensor de temperatura |

Tabla # 3. 1: Listado de los sensores Seleccionados.

Fuente: Héctor Galvis y Humberto Zeas

Como instrumento principal del banco de pruebas se escogió el SITRANS FM MAG 5100 de SIEMENS, que es un sensor de caudal electromagnético y este es el que va a medir la variable que vamos a controlar y a partir de este se irán dimensionando las tuberías que lo conectaran al proceso y podrá darnos una idea del tamaño que debe tener el banco didáctico.

3.6.2.2.2. Montaje del sensor SITRANS FM MAG 5100

Para el montaje de este sensor se debe tomar en cuenta las características mecánicas, entre las principales podemos observar que el diámetro interior es de 50mm, el material es de acero al carbono con recubrimiento de epoxi, el tipo de fluido para el cual fue diseñado en este caso Agua, su orientación puede ser vertical u horizontal para nuestra conveniencia se escogio la orientación

horizontal, otra característica es el grado de protección IP65 que lo hace ideal para instalarlo en interiores o exteriores.

3.6.2.2.3. Conexión del sensor hacia el proceso

Para la conexión hacia el proceso, es decir cómo va a ir conectado nuestro sensor con las tuberías y este a su vez a la bomba y los tanques, según los datos del fabricante la conexión hacia el proceso es del tipo ANSI 150 lbs que se refiere a juntas con bridas que soportan presiones hasta 150 lbs/pulg², y para ver las dimensiones de las bridas nos valemos de la tabla 3.2 proporcionada por el fabricante.

| mm | DIMENSIONES | | | | UNION CON PERNOS | |
|---------------|-------------|-----|------|----|------------------|--------|
| | D | PCD | T | B | ORIFICIOS | PERNOS |
| 150Lbs | | | | | | |
| 15 | 89 | 60 | 12 | 16 | 4 | M12 |
| 25 | 108 | 79 | 16 | 16 | 4 | M16 |
| 40 | 127 | 98 | 18 | 16 | 4 | M16 |
| 50 | 152 | 121 | 19 | 19 | 4 | M16 |
| 65 | 178 | 140 | 22 | 19 | 4 | M16 |
| 80 | 190 | 152 | 24 | 19 | 4 | M16 |
| 100 | 229 | 191 | 24 | 19 | 8 | M16 |
| 125 | 254 | 216 | 24 | 22 | 8 | M20 |
| 150 | 279 | 241 | 25 | 22 | 8 | M20 |
| 200 | 343 | 298 | 29 | 22 | 8 | M20 |
| 250 | 406 | 362 | 30 | 25 | 12 | M24 |
| 300 | 483 | 432 | 32 | 25 | 12 | M24 |
| 350 | 533 | 476 | 35 | 28 | 12 | M27 |
| 400 | 597 | 540 | 36.5 | 28 | 16 | M27 |
| 450 | 635 | 578 | 40 | 32 | 16 | M30 |
| 500 | 699 | 635 | 43 | 32 | 20 | M30 |
| 600 | 813 | 749 | 48 | 35 | 20 | M33 |

Tabla # 3. 2: Tabla de conexión del sensor hacia el proceso.

Fuente: Siemens

Como podemos ver en la tabla las dimensiones de las bridas que corresponden para un diámetro interior de 50mm se muestran en la siguiente figura:

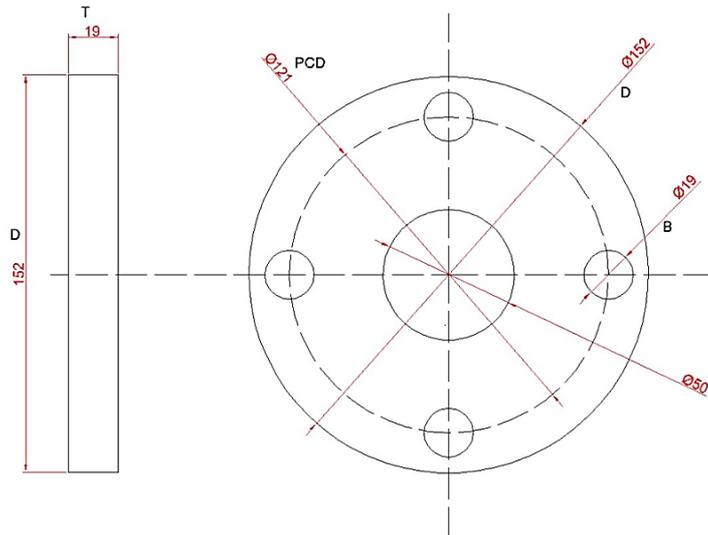


Figura # 3. 7: Brida clase 150

Fuente: Héctor Galvis y Humberto Zeas

También podemos ver que el número de orificios es de cuatro y que la unión con pernos es del tipo M16 que según DIN 933 corresponden a pernos con cabeza exagonal con rosca milimétrica y un diámetro del vástago de 16mm.

Por lo tanto para poder conectar este sensor al proceso tenemos que hacerlo por medio de bridas de las mismas dimensiones que las que tiene el sensor y que además las tuberías deben ser del mismo diámetro interior del sensor o sea de 50mm.

3.6.2.2.4. Determinación del tipo de material

Para determinar el material con el cual deben ser construidas las tuberías y los tanques partimos de las condiciones que debe tener el banco didáctico mencionadas anteriormente y una de ellas es que los materiales deben ser de buena calidad y resistentes a la corrosión, por tanto hicimos una comparación de los diferentes materiales existentes en el mercado local con que se pueden construir.

Se escogió el acero inoxidable 304 que sin ser muy costoso ofrece las mejores características mecánicas y químicas en comparación con el acero negro y el aluminio.

Por lo tanto la tubería con que se construirá el circuito hidráulico así como las juntas o bridas serán de acero inoxidable 304.

3.6.2.2.5. Determinación de la ubicación

Para el montaje del sensor de flujo nos valemos de las recomendaciones del fabricante que nos indica lo siguiente:

El sensor siempre debe estar lleno de líquido, por eso debemos instalarlo con tuberías en U formando un sifón que garantice esta condición.

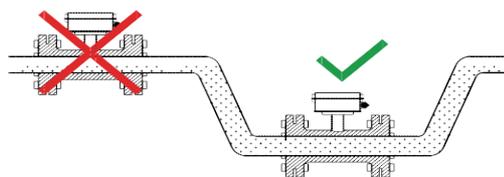


Figura # 3. 8: Forma correcta de montar el sensor

Fuente: Siemens

3.6.2.2.6. Condiciones de entrada y salida

Otra recomendación que hace el fabricante para obtener una medida precisa del caudal es esencial contar con longitudes rectas de los tubos de entrada y salida así como conservar cierta distancia de las válvulas y de la bomba, y es importante centrar el sensor con respecto a las bridas y las tuberías.

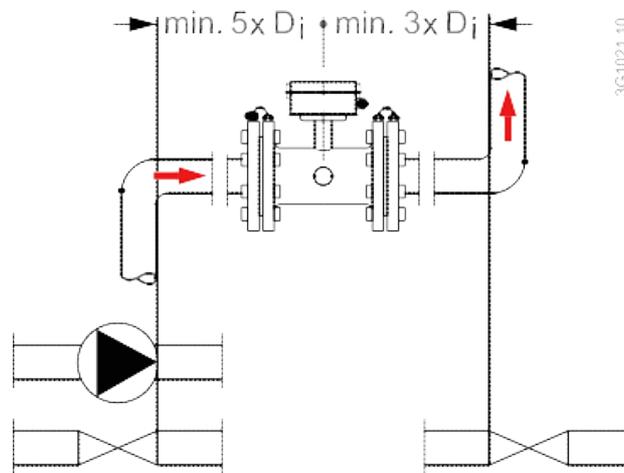


Figura # 3. 9: Dimensiones mínimas de los tubos rectos

Fuente: Héctor Galvis y Humberto Zeas

Como se observa en la figura xxx la entrada del sensor debe contar con una tubería recta de 5 veces el diámetro interior del sensor es decir $5 \times 50 \text{ mm} = 250 \text{ mm}$ como mínimo y la salida del sensor debe contar con una tubería recta de 3 veces el diámetro interior del sensor es decir $3 \times 50 \text{ mm} = 150 \text{ mm}$ como mínimo.

3.6.2.2.7. Construcción de las tuberías

Con estas condiciones ya podemos definir cómo vamos a construir la tubería tanto la que va a la entrada del sensor así como la de la salida

y podemos realizar un dibujo o bosquejo donde conste las dimensiones y de cómo debe estar dispuesta la tubería.

También podemos ubicar el sensor de presión para medir la presión de descarga hacia el tanque de proceso y lo hemos ubicado en el segundo codo en la parte alta donde se podrá visualizar fácilmente las lecturas.

Para darle mayor firmeza y robustez la tubería de 50mm, los codos y bridas deberán ser soldados con una buena precisión que garantice que el caudalímetro o sensor de flujo quede bien alineado y no pierda la exactitud de la medición, los demás accesorios como neoplos, válvulas, codos y uniones universales serán del mismo material o sea acero inoxidable 304 y de un diámetro de 3/4" y deberá contar con una derivación a la salida de la bomba para hacer recircular el fluido y poder hacer una interferencia en el proceso.

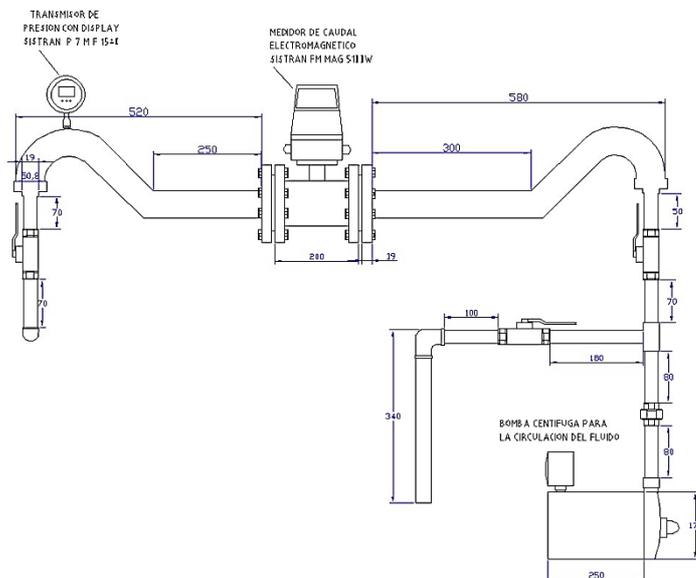


Figura # 3. 10: Montaje del flujómetro y de las tuberías

Fuente: Héctor Galvis y Humberto Zeas

3.6.2.2.8. Construcción del tanque del proceso

El tanque reservorio se debe construir de acero inoxidable 304 cuyas dimensiones tendrán que determinarse considerando las características del sensor de nivel que es el SITRANS PROBE LT y además de las recomendaciones del fabricante.

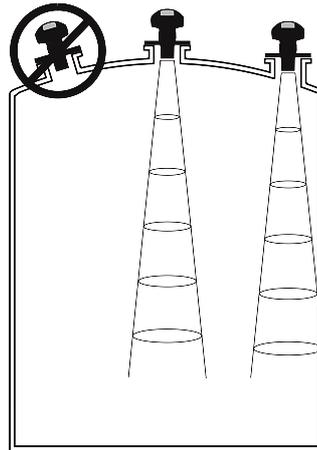


Figura # 3. 11: Muestra la forma correcta de ubicar el sensor de nivel

Fuente: Siemens

De acuerdo a esto podemos determinar que el tanque deberá tener forma cilíndrica y debe tener en la parte superior una tapa bridada que facilite el mantenimiento y limpieza así como las conexiones al proceso deberán ser roscadas para su fácil montaje y desmontaje, debe tener puntos de fijación que permita asegurar en la estructura, en la tapa deberá ser montado el sensor de nivel mediante una conexión roscada.

La altura no podrá ser más de 90cm ya que como debe ir elevado en la estructura si se lo hace más alto será difícil de apreciar la lectura del sensor de nivel y como una de las condiciones del banco de

pruebas es que los sensores deben de presentar facilidad para la lectura y manipulación.

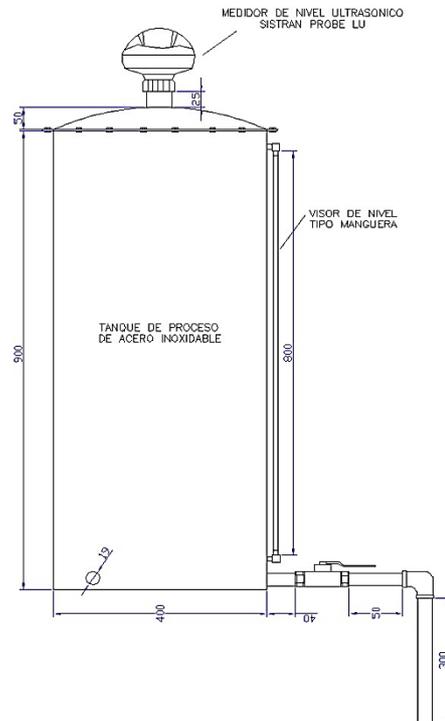


Figura # 3. 12: Dimensiones del tanque del proceso

Fuente: Héctor Galvis y Humberto Zeas

De acuerdo a estas dimensiones el tanque se podrá calcular el volumen que podrá alojar el tanque.

$$V = \pi \times r^2 \times h$$

Dónde: $V = \pi \times (20)^2 \times 90 = 113097.6 \text{ cm}^3$ que equivale aproximadamente a 0.113 metros cúbicos o 113 litros.

El tipo de material con el que podrán ser construidos los tanques se describen en la siguiente tabla haciendo referencia a su flexibilidad

de construcción de acuerdo a la estructura, costo resistencia a la corrosión, transparencia y durabilidad.

| Material | Flexibilidad estructural | | Costo | Resistencia a la corrosión | Aplicación al Proceso | Durabilidad |
|------------------|--------------------------|------------|-----------|----------------------------|-----------------------|-------------|
| | Rectangular | Cilíndrica | | | | |
| Acero Inoxidable | Alta | Media | Costoso | Cumple | Cumple | Alta |
| Acrílico | Alta | Baja | Económico | No Cumple | No Cumple | Baja |
| Plástico | Alta | Baja | Económico | No Cumple | No Cumple | Baja |
| Aluminio | Alta | Media | Costoso | Cumple | No Cumple | Media |
| Vidrio | Alta | Baja | Económico | No Cumple | No Cumple | Baja |

Tabla # 3. 3: Materiales para la instalación del tanque.

Fuente: Héctor Galvis y Humberto Zeas

Tomando en cuenta la las características que se detallan en la tabla 3, el material y la flexibilidad estructural, para la construcción del tanque será de acero inoxidable 304 y de forma cilíndrica ya que es fácil su construcción.

3.6.2.2.9. Construcción del tanque reservorio

El tanque reservorio también deberá ser construido con planchas de 1.5 mm de espesor de acero inoxidable 304 y debe tener una capacidad aproximadamente el doble de la capacidad del tanque del proceso, de tal manera que se pueda asegurar el llenado completo del tanque del proceso y tener agua suficiente para que la bomba no se quede vacía y entre en cavitación provocando daños a la misma.

El tanque reservorio deberá ser de forma rectangular, las puntas que se formen deberán ser redondeadas, los bordes superiores deberán ser doblados hacia el interior del tanque, las uniones deberán ser

soldadas y deberá ser montado en la parte inferior del banco junto a la bomba, tener puntos de fijación para asegurar en la estructura del banco, tener conexiones roscadas tanto para fijar la tubería de succión de la bomba y drenaje para evacuación del fluido para la limpieza y mantenimiento.

De acuerdo a esto podemos bosquejar un dibujo donde se muestre la forma y las dimensiones que debe tener.

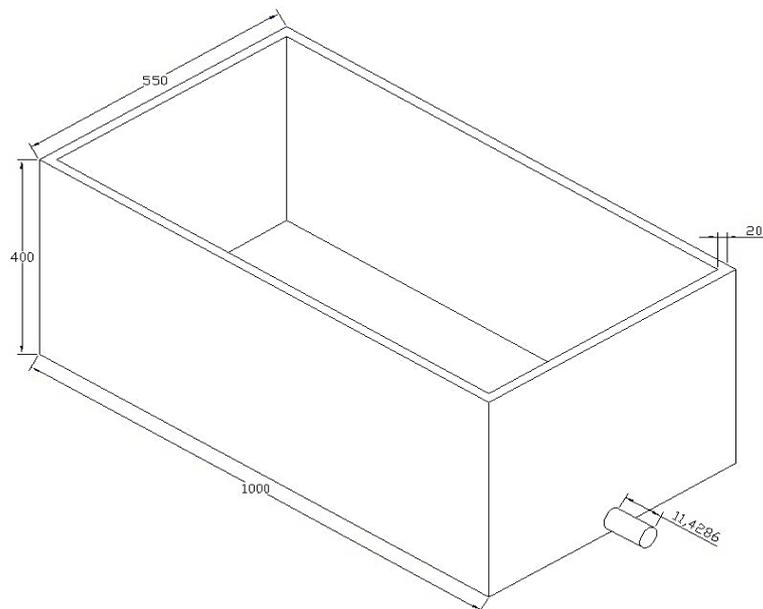


Figura # 3. 13: muestra las dimensiones y la forma del tanque

Fuente: Héctor Galvis y Humberto Zeas

El volumen que puede contener este tanque es:

$$V = l \times l \times h$$

Entonces vemos que $V = 100 \times 55 \times 40 = 220000 \text{ cm}^3$ lo que equivale a 0.220m^3 o 220litros que vendría a ser aproximadamente el doble de la capacidad del tanque de proceso, de esta forma se

asegura la suficiente cantidad de fluido para ser bombeado sin ningún inconveniente.

3.6.2.2.10. Construcción de la estructura

Debido a que se necesita una estructura robusta capaz de soportar toda la instrumentación y componentes mecánicos que van a contener el equipo didáctico, la base estructural del módulo didáctico se construirá con ángulo de hierro de 1 1/2" x 1/8" x 6 mt todas sus partes deben ser soldadas con electrodos AGA 6011, deberá ser pintado con pintura anticorrosiva como fondo y acabado con pintura de color verde, deberá tener una base para instalar la bomba, soportes firmes donde irán soportados los tanques, tener en la parte superior una base donde va a ir soportado el flujómetro y asegurado con abrazaderas tipo u de acero inoxidable también deberá tener un base para montar el panel eléctrico, debe tener ruedas giratorias que puedan soportar el peso total del banco con los tanques llenos, estas deben ser giratorias que permitan mover el banco y tener freno para fijarlo en el sitio, la estructura mecánica se muestra en la figura 3.14

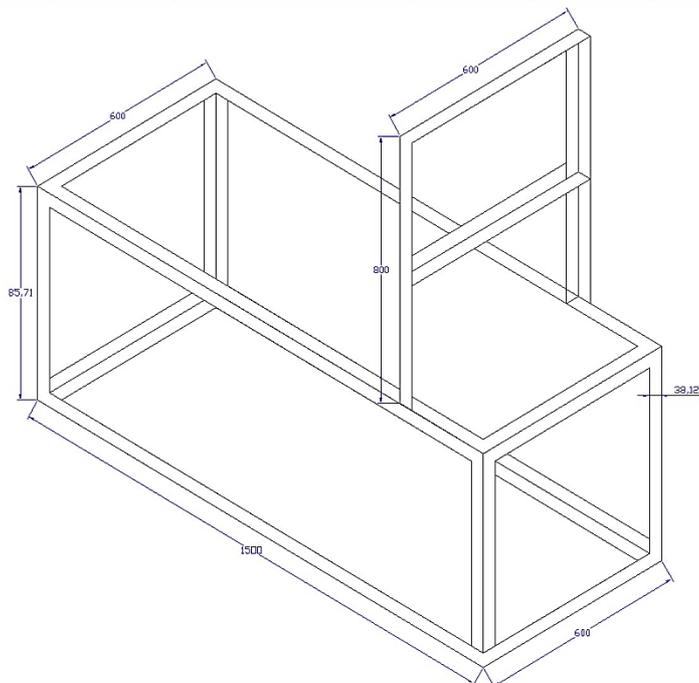


Figura # 3. 14: Estructura del modulo

Fuente: Héctor Galvis y Humberto Zeas

La estructura mecánica fue diseñada con el fin de soportar todos los pesos distribuidos en el tanque, reservorio de nivel y equipos de instrumentación cuyas medidas se detallan en la figura. 3.14.

3.6.2.2.11. Selección de la bomba centrífuga

Paran seleccionar la bomba tenemos que tomar en cuenta el caudal con que se va a llenar el tanque de proceso que al tener una capacidad de 113000 cm³ que nos da 30 galones aproximadamente, quiere decir que si queremos llenar este tanque en un minuto debemos tener una bomba de esa capacidad, además el motor eléctrico debe ser trifásico ya que este va ser controlado por medio de un variador de frecuencia trifásico, al hacer consulta en el mercado nos recomendaron una bomba de una capacidad de 40 gal/min, con una succión de 1 1/2” y una descarga de 1” con un motor trifásico de 1/2 hp que es suficiente para mover el fluido de nuestro proceso, en la figura # 3.15 se muestra la bomba con el motor.



Figura # 3. 15: Bomba centrífuga de 40 GPM con motor WEG de 1/2 HP

Fuente: Héctor Galvis y Humberto Zeas

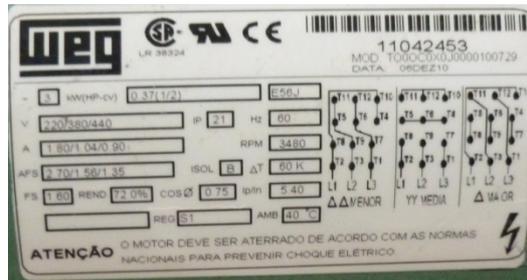


Figura # 3. 16: datos de placa del motor WEG de 1/2 hp

Fuente: Héctor Galvis y Humberto Zeas



Figura # 3. 17: Datos de placa de la bomba centrífuga THEBE

Fuente: Héctor Galvis y Humberto Zeas

3.6.2.2.12. Montaje de la bomba centrífuga

La bomba deberá estar instalada en la parte baja del banco didáctico junto al tanque reservorio y fijado con pernos sobre un soporte adecuado para ello, la conexión hacia el proceso se lo hará con tubería roscada NPT de acero inoxidable 304 de 1 1/2” para la succión y se acoplara al tanque con la ayuda de una unión universal de la misma medida (1 1/2”), y la descarga se lo hará con tuberías roscadas NPT de acero inoxidable de 1” y también se acoplara a la tubería del flujómetro por medio de una unión universal de 1”.

La utilización de uniones universales ayudan a acoplar con facilidad tuberías y componentes, en este caso permitirá montar y desmontar la bomba con facilidad permitiendo darle un mantenimiento si es necesario.

3.7. SISTEMA ELECTRICO

El sistema eléctrico del banco didáctico está basado en una fuente de poder de 24v dc que es la que se encargara suplir el voltaje que necesitan los sensores para su funcionamiento, y este debe estar alojado en un tablero de distribución.

3.7.1. Implementación del tablero de distribución

Para la implementación del tablero de distribución se tomaron en cuenta varios aspectos:

- El tablero debe tener el tamaño adecuado para alojar la fuente de alimentación, los breakers y fusibles de protección, borneras, canaletas etc.
- En la parte frontal deberá tener conectores bien identificados donde se conectaran los cables que llevaran la señal hacia el PLC.
- El acceso de los cables deberán ser por la parte inferior del tablero.
- El grado de protección debe ser el adecuado por lo menos IP20

Tomando en cuenta el tamaño de la fuente y el resto de los componentes que irán dentro del tablero, se adquirió un panel BEACOUPE de 40 x 40 x 20 cm de plancha de 1/20" de espesor, color beige con pintura al horno.

El tablero se lo monto en la parte superior del banco y fijado en la estructura con pernos de 1 x 1/4”.

En tablero se instaló una fuente de poder marca SOLA modelo SDN-2.5-24-100P de entrada de 120 v ac y de salida 24 vdc 2.5 amperios, mostrada en la figura 2.5, la fuente y los demás componentes se fijaron sobre riel tipo DIN, para su protección la entrada se usó un breaker de 1P x 4 A y para el ordenamiento del cableado se usaron canaletas plásticas ranuradas, para las conexiones entre componentes se utilizaron borneras y terminales para cable 14-16 AWG.



Figura # 3. 18: fuente de poder SOLA SDN 2.5-24-100P

Fuente: Héctor Galvis y Humberto Zeas

Los cables que se conectaran en los conectores que están dispuestos en la parte frontal están soldados con soldadura de estaño para una mejor conexión, ya que en estos conectores deberán conectarse los cables que llevan la señal de 4–20 mA hacia el PLC y que cualquier terminal flojo provocara una mala medición del sensor que está conectado.

Los cables que conectan los sensores hacia el tablero son del tipo belden apantallado 2 x 18 AWG y están dispuesto de una forma discreta ocultos

en la estructura con la ayuda de espirales plásticas de ½” para sujetar cables y fijadas con amarras plásticas de 3.6 x 100mm.

Para la protección de sobrecarga o cortocircuito de los sensores se dispuso de fusibles de 1 A montados en borneras portafusibles.



Figura # 3. 19: Muestra el panel con sus componentes y totalmente cableado
Fuente: Héctor Galvis y Humberto Zeas

3.8. SISTEMA ELECTRÓNICO

Este sistema es parte fundamental del banco de prueba de procesos industriales, el cual estará dividido en dos subsistemas para de esta manera facilitar su entendimiento y descripción los mismos que se presentan en la Figura 3.20



Figura # 3. 20: Sistema Electrónico

Fuente: Héctor Galvis y Humberto Zeas

3.8.1. Instrumentación y control

A continuación se muestra el diagrama de instrumentación P & D del banco de pruebas de procesos industriales.

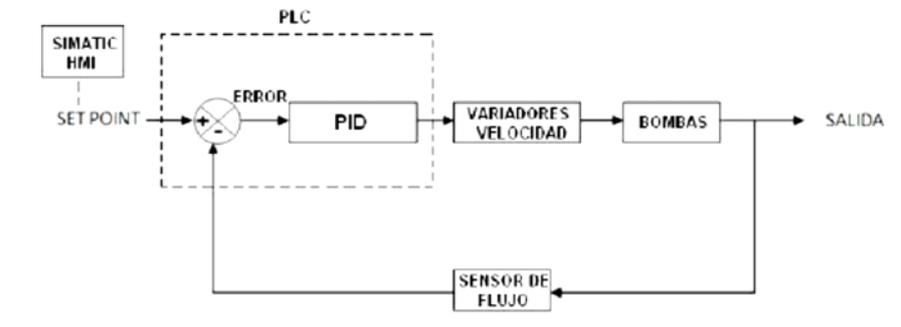


Figura # 3. 21: Diagrama P&D

Fuente: Héctor Galvis y Humberto Zeas

La Facultad Técnica de la Universidad Católica cuenta en su laboratorio de control con equipos de instrumentación industrial, los mismos que serán utilizados para realizar los procesos de medición nivel, presión, temperatura y control de caudal en la presente tesis, para esto es necesario que los equipos de instrumentación y control involucrados en los procesos cumplan con las características que se detallan a continuación.

3.8.1.1. Equipos de Instrumentación

El banco de pruebas de procesos industriales consta de cuatro sensores.

- a. Sensor de Caudal
- b. Sensor de Nivel
- c. Sensor de Presión
- d. Sensor de Temperatura.

3.8.1.1.1. Sensor de caudal FIT.



Figura # 3. 22: Sensor de caudal electromagnético

Fuente: <http://www.directindustry.es/prod/siemens-sensors-and-communication/>.

Para la selección del sensor de caudal se considerara las siguientes especificaciones técnicas.

| PARAMETROS | ESPECIFICACIONES |
|----------------------|----------------------------|
| Tipo de fluido | Agua |
| Señal de salida | Analógica de 0/4-20 mA |
| Comunicación | Hart, profibus, Modbus RTU |
| Voltaje | 120vac. |
| Ubicación de montaje | Horizontal |
| Gado de Protección | IP 65 |

Tabla # 3. 4: Especificaciones técnicas requeridas para la medición de caudal

Fuente: Héctor Galvis y Humberto Zeas

Una vez revisada las especificaciones requeridas se comprobó que la facultad dispone de un sensor de caudal caudalímetro que cumple con las condiciones técnicas requeridas para ser utilizado en el banco de pruebas de procesos industriales que es de tipo electromagnético compuesto por un medidor Siemens Sitrans FM MAG 5100 W y un transmisor SIEMENS SITRANS FM MAGFLO MAG 6000, basado en microprocesadores, acondicionado con una señal de salida de 4 – 20 mA el transmisor posee un display que permite visualizar la medición de caudal pudiendo estar expresada en minutos, horas y segundos, a continuación se detallan las especificaciones técnicas del equipo.

Características Técnicas

Medidor Siemens Sitrans FM MAG 5100 W

| SIEMENS SITRANS FM MAG 5100 W | | |
|-------------------------------|-------------------------------|---|
| CARACTERÍSTICAS MECANICAS | | |
| Diseño y tamaño nominal | Diametro interior 50 mm | |
| Presion de trabajo | 580 PSI | |
| Material | Caja y brida | Acero al carbono con recubrimiento de epoxy bicomponente resistente a la corrosión. |
| | Tubería de Medición | ANSI 304 (14301) |
| | Electrodos | Hastelloy C |
| | Electrodos de puesta a tierra | Hastelloy |
| | Caja de conexión | Poliamida reforzada con fibra de vidrio |
| Categoría de corrosión | | |
| Grado de protección | | IP 65 |
| Orientación | | Horizontal / Vertical |
| Temperatura de trabajo | | -10 ° C / 70 ° C |
| Peso | | 9 kg |
| Fluido | | Agua |
| Rango | | 0 – 8592 l/s |
| CARACTERÍSTICAS ELECTRICAS | | |
| Principio de medición | | Inducción Electromagnética |
| Voltaje de medición | | 11 – 30 vdc o 115 – 230 vac. |
| Consumo de corriente | | 2.5 – 7 mA |
| Frecuencia de Excitación | | 12.5 Hz |
| Error máximo de medición | | 0.2 % ± 1 mm/s (para velocidad > 0,1 m/s) |

Tabla # 3. 5: Características Técnicas del Siemens Sitrans

Fuente: <http://www.directindustry.es/prod/siemens-sensors-and-communication/>



Figura # 3. 23: Siemens SITRANS FM MAG 5100 w

Fuente: <http://www.directindustry.es/prod/siemens-sensors-and-communication/>

3.8.1.1.2. Transmisor de Caudal

Siemens *Sitrans FM MAGFLO MAG 6000*

| SIEMENS SITRANS FM MAGFLO MAG 6000 | |
|------------------------------------|---|
| CARACTERISTICAS MECANICAS | |
| Material | Aluminio |
| Grado de Proteccion | IP 67 A EN60529 / NEMA 4X / 6 |
| Temperature de trabajo | -20 A 60 ° C |
| Peso | 6 Kg (13.5 lb) |
| CARACTERISTICAS ELECTRICAS | |
| Voltaje de alimentacion | 11 – 30 vdc o 115 - 230 vac. |
| Consumo de Corrientes | 2.5 – 7 mA |
| Salida | 4 – 20 mA |
| Maxima carga de salida | 800 Ω |
| comunicacion | Modulos de comunicacion opcional ➤ HART ➤ MODBUS RTU RS – 485 ➤ PROFIBUS PA ➤ PROFIBUS DP |



The image shows a Siemens Sitrans FM MAGFLO MAG 6000 flow transmitter. It is a white, rectangular device with a teal-colored top section. The top section features a small LCD screen and several buttons. The front panel has a label with the Siemens logo and product information. The device is mounted on four small feet.

Tabla # 3. 6: Siemens Sitrans FM MAGFLO MAG 6000

Fuente : <http://www.directindustry.es/prod/siemens-sensors-and-communication/>

Instalación de sensor de caudal

Dadas las características del banco de pruebas y las del sensor de caudal la instalación de este dispositivo se realizó cumpliendo con las siguientes recomendaciones propuestas por el fabricante.

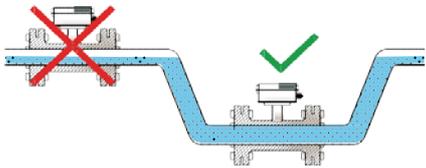
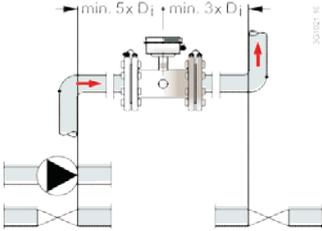
| INSTALACION DE MEDIDOR DE CAUDAL | | |
|--|---|---|
| Ubicación y orientación |   | Orientación horizontal con la caja de conexión hacia arriba |
| Condiciones de entrada y salida |   | La longitud recta del tubo de entrada al medidor de caudal es 5 veces el diámetro interno del medidor y la longitud recta del tubo de salida del medidor de caudal es de 3 veces el diámetro interno del medidor. |
| Recomendaciones para la instalación | | |
| <ul style="list-style-type: none"> ➤ Instalar el medidor de caudal en tuberías rígidas para soportar su peso. ➤ Centrar axialmente las tuberías de conexión para evitar perfiles de flujo con turbulencias. ➤ Utilizar juntas adecuadas conforme al tipo de revestimiento. ➤ Evitar vibraciones fuertes. ➤ Apretar los pernos de sujeción de manera adecuada. | | |

Tabla # 3. 7: Instalación del medidor de caudal

Fuente: Héctor Galvis y Humberto Zeas

Conexión del medidor y transmisor del caudal.

Las conexiones entre el medidor y transmisor marca Siemens se las detalla en los siguientes pasos.

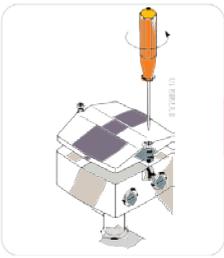
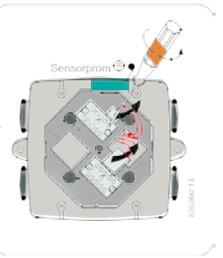
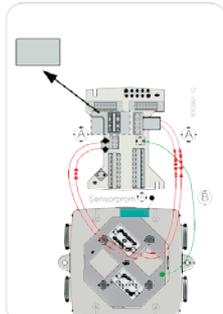
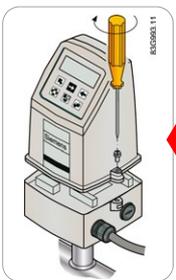
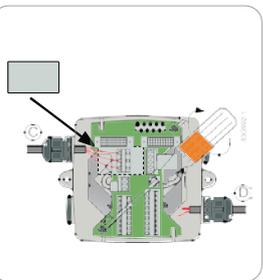
| CONEXIÓN DEL MEDIDOR Y TRANSMISOR DE CAUDAL | |
|--|---|
| <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;"> <p>1</p>  </div> <div style="text-align: center;"> <p>2</p>  </div> </div> | <p>Paso 1 Quite y deseche la tapa de la caja de bornes del sensor. Monte los prensaestopas PG 13.5 para los cables de alimentación y salida.</p> <p>Paso 2 Quite los dos tapones negros de los cables de la bobina y del electrodo de la caja de bornes y conéctelos a los terminales numerados correspondientes de la placa de conexiones. Monte la placa de conexiones en la caja de bornes.</p> |
| <p>3</p>  | <p>Paso 3 Conecte el cable de tierra entre PE de la placa de conexiones y el tornillo de tierra del interior del cabezal del sensor. Conecte el conector de 2 y el de 3 vías como muestra el dibujo</p> <p>Nota El sistema no registrará un caudal correcto si los conectores negros no están conectados en la placa de conexiones.</p> |
| <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;"> <p>5</p>  </div> <div style="text-align: center;"> <p>4</p>  </div> </div> | <p>Paso 4 Monte la placa de conexiones en la caja de bornes, fijándola mediante los dos tornillos suministrados. Las conexiones de la unidad SENSORPROM® se establecerán automáticamente al montar la placa de conexiones en la caja de bornes.</p> <p>Nota Cheque que el conector de la SENSORPROM® ubicado por la parte inferior de la placa de conexiones, coincide con la situación de la SENSORPROM®. De no ser así deberá cambiar la SENSORPROM® al lado opuesto del la caja de bornes.</p> <p>Paso 5 Monte los cables de alimentación y salida respectivamente y apriete los prensaestopas para obtener un cierre óptimo. Consulte el esquema de cableado titulado "Conexiones eléctricas". Monte el convertidor de señal en la caja de bornes.</p> |

Tabla # 3. 8: Pasos para la conexión del medidor y transmisor de caudal

Fuente: <http://www.directindustry.es/prod/siemens-sensors-and-communication/>

Conectar los cables de alimentación y tierra en el sensor de caudal acorde como se muestra en la figura.

Alimentación

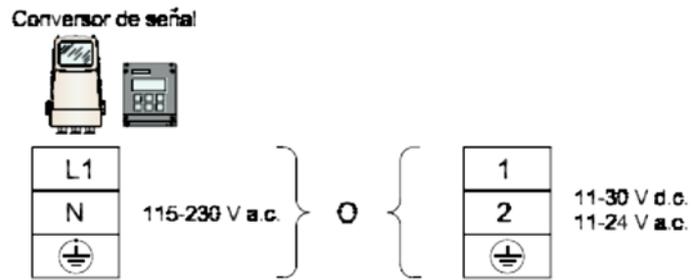


Figura # 3. 24: Conexión de los cables de alimentación y tierra en el sensor de caudal.

Fuente: <http://www.directindustry.es/prod/siemens-sensors-and-communication/>

En la figura 3.25 se muestra como conectar los cables de salida de 4 – 20 mA desde el transmisor hacia la entrada analógica del PLC.

Salidas

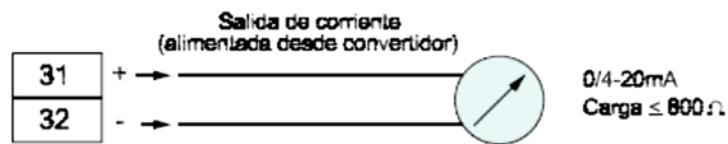


Figura # 3. 25: Conexión de cables de salida en el sensor de caudal

Fuente: <http://www.directindustry.es/prod/siemens-sensors-and-communication/>

Conectar los cables del sensor correspondiente a los electrodos y bobinas como se muestra en la figura 3.26.

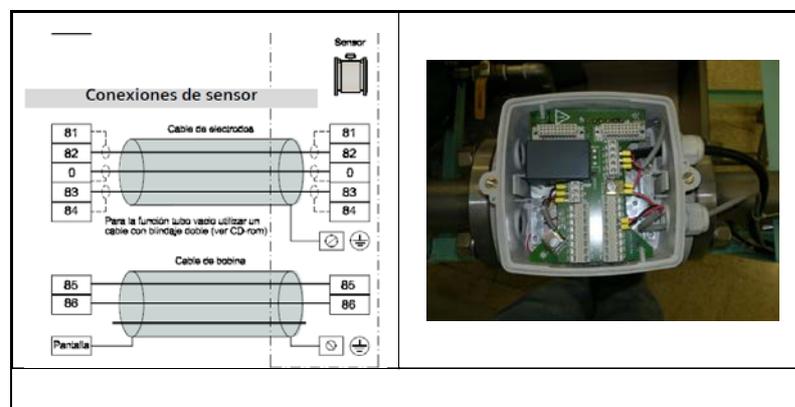


Figura # 3. 26: Conexión de cables del sensor a los electrodos.

Fuente: <http://www.directindustry.es/prod/siemens-sensors-and-communication/>

Configuración de parámetros

En la siguiente tabla. Se muestran los parámetros que fueron configurados con sus respectivos valores, para esto se reviso el manual del usuario del transmisor de caudal SIEMENS SITRANS FM MAG 6000.

| Parámetro | Valor |
|----------------------|-----------------------|
| Dirección de flujo | Positivo |
| Caudal Máximo (Qmax) | 20 m ³ / h |
| Frecuencia | 60 Hz |
| Salida de corriente | 4 – 20 mA |
| Unidad de medida | M ³ / h |

Tabla # 3. 9: Configuración de los parámetros básicos transmisor de caudal.

Fuente: <http://www.directindustry.es/prod/siemens-sensors-and-communication/>

3.8.1.1.3. Sensor de nivel LIT.

La selección del sensor de nivel depende principalmente de la naturaleza del líquido que con el que se va a trabajar el sensor, la precisión, rango a medir, ante esto se consideraran las siguientes especificaciones técnicas.

| PARAMETROS | ESPECIFICACIONES |
|------------------------|---------------------------|
| Aplicación de proceso | Nivel de liquido |
| Señal de salida | Analógica de 0 /4 – 20 mA |
| Unidad de ingeniería | Mts – cm - mm |
| Alimentacion eléctrica | 24 vac. |
| Tipo de Sensor | Ultrasónico |
| Ubicación de Montaje | Horizontal |
| Tipo de medición | Continua |

Tabla # 3. 10: Especificaciones técnicas requeridas para la medición de nivel

Fuente: <http://www.directindustry.es/prod/siemens-sensors-and-communication/>

Una vez revisada las especificaciones requeridas, tal como en el caso anterior del sensor de caudal, este equipo también lo dispone la faculta técnica y el mismo cumple con las condiciones técnicas requeridas para ser utilizado en el banco de pruebas de procesos industriales es de tipo transmisor ultrasónico con conexión a dos hilos marca SIEMENS modelo SITRANS Probe LU , acondicionado con una señal de salida de 4 – 20 mA el transmisor posee un display que permite visualizar la medición de nivel, la salida de corriente, unidad de medida de ingeniería pudiendo estar expresada en metros, centímetros y milímetros, a continuación se detallan las especificaciones técnicas del equipo.

Características Técnicas Medidor Siemens Sitrans Probe LU

| SIEMENS SITRANS PROBE LU | |
|----------------------------|---|
| CARACTERISTICAS MECANICAS | |
| Material | PVDF polyvinylidene fluoride |
| Grado de Proteccion | Type 4X/NEMA 4X, Type 6 /NEMA 6, IP67, IP68 enclosure |
| Temperature de trabajo | -40 to +85 °C (-40 to +185 °F) |
| Peso | 2.1 kg (4.6 lb) |
| Rango de medicion | 0 – 6 mts |
| CARACTERISTICAS ELECTRICAS | |
| Voltaje de alimentacion | 24 vdc. |
| Salida | 4 – 20 mA |



Tabla # 3. 11: Características del Transmisor de Nivel

Fuente: <http://www.directindustry.es/prod/siemens-sensors-and-communication/>

Instalación de transmisor de nivel

Dadas las características que tiene el tanque de proceso del banco de pruebas de procesos industriales que es donde va ser instalado y las del transmisor de nivel la instalación de este dispositivo se realizó cumpliendo con las siguientes recomendaciones propuestas por el fabricante.

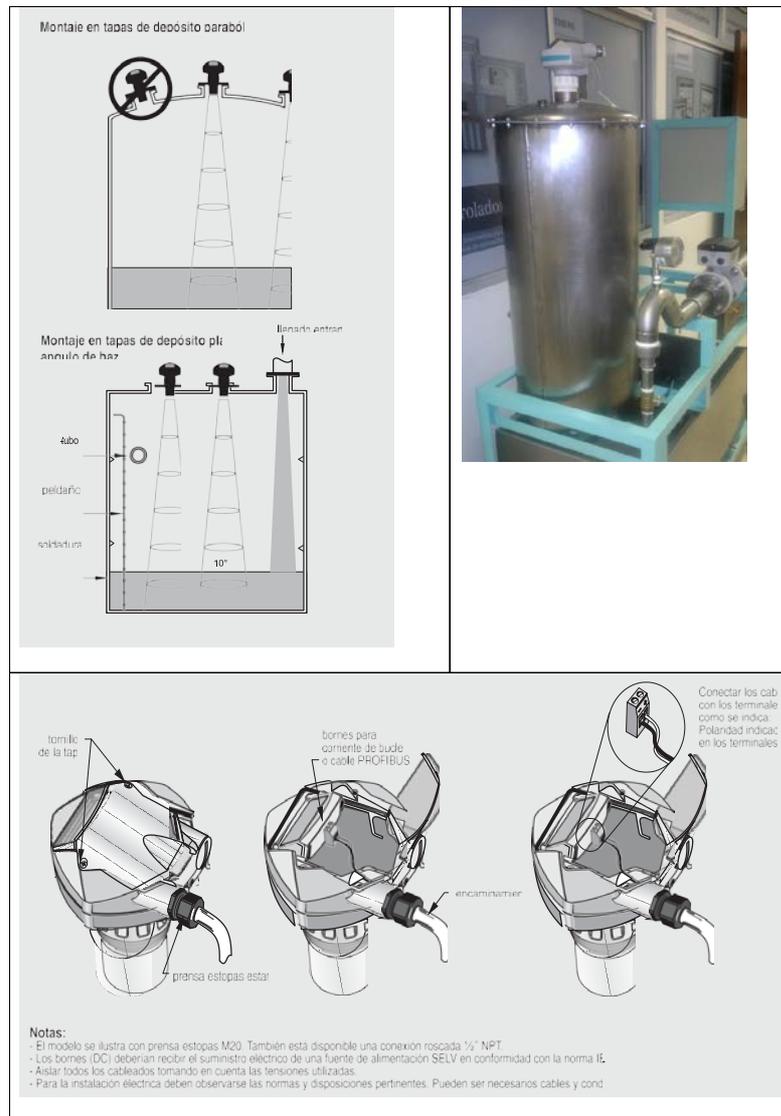


Tabla # 3. 12: Instalación del transmisor de seguridad

Fuente: <http://www.directindustry.es/prod/siemens-sensors-and-communication/>

3.8.1.1.4. Sensor de presión PIT

Para la selección del sensor de presión se consideraron las siguientes especificaciones técnicas.



Figura # 3. 27: Sensor de Presión

Fuente: <http://www.directindustry.es/prod/siemens-sensors-and-communication/>

| PARAMETROS | ESPECIFICACIONES |
|----------------------|---------------------------|
| Forma constructiva | Horizontal / Vertical |
| Señal de salida | Analógica de 0 /4 – 20 mA |
| Conexión a Proceso | ½ NPT |
| Voltaje | 24 vdc. |
| Tipo de Sensor | Transmisor |
| Magnitud de entrada | Presión absoluta |
| Grado de Protección | IP 65 |
| Rango de medición | 0 – 10 bar |
| Unidad de ingeniería | Bar - psi |

Tabla # 3. 13: Especificaciones técnicas requeridas para la medición de presión

Fuente: <http://www.directindustry.es/prod/siemens-sensors-and-communication/>

El sensor de presión utilizado es tipo transmisor de presión es marca SIEMENS de la la serie ZD7MF1580 parametrizable para medición de presión relativa y presión absoluta, consta de un display para visualizar la medición de presión en el lugar de la instalación, a continuación se detallan las características técnicas del transmisor de presión a utilizarse.

Características técnicas.

Medidor Siemens Sitrans P Series ZD

| SIEMENS SITARNS P SERIES ZD | |
|-----------------------------------|------------------------------------|
| CARACTERISTICAS MECANICAS | |
| Material | ACERO INOXIDABLE |
| Grado de Proteccion | IP65 conforme a EN 60 529 |
| Temperature de trabajo | -10 ... +70 °C (-14 ... (+158 °F)) |
| Peso | 0,6 kg (~ 1,32 lb) |
| Rango de medicion | 0 – 10 BAR |
| CARACTERISTICAS ELECTRICAS | |
| Voltaje de alimentacion | 24 vdc. |
| Consumo de Corrientes | 0,023 A |
| Salida | 4 – 20 mA |
| Conexion a proceso | Rosca de ½ NPT |



Tabla # 3. 14: Características del Transmisor de Presión.

Fuente: <http://www.directindustry.es/prod/siemens-sensors-and-communication/>

Instalación del transmisor de presión.

La instalación de este dispositivo se realizó cumpliendo con las siguientes recomendaciones propuestas por el fabricante.

El equipo fue instalado en el tramo de la descarga de la bomba tubería de 2 " cuya conexión a proceso es de ½ " rosca NPT, la alimentación del sensor como el envío de la señal se lo realizan mediante los dos cables del sensor, puesto que la información es transmitida en forma de corriente, la señal de corriente del transmisor llegan al PLC Siemens S7 – 300 modulo analógico modelo **331** entrada **AI 2**

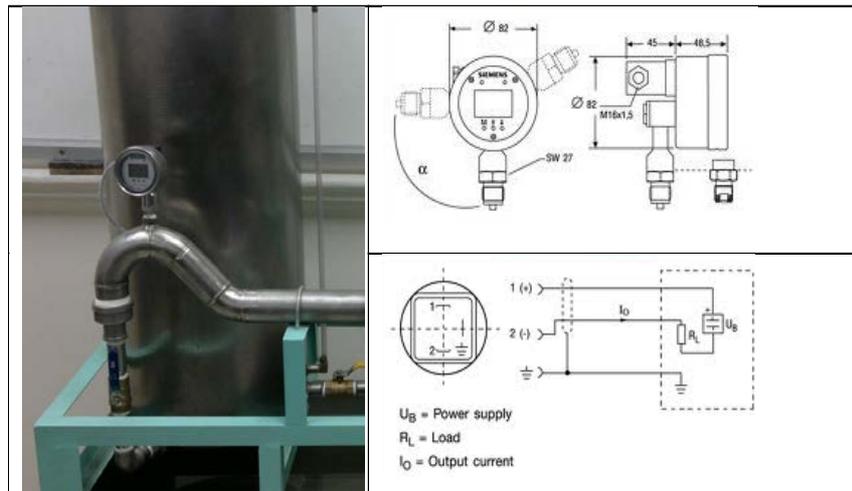


Figura # 3. 28: Instalación del transmisor de presión

Fuente: <http://www.directindustry.es/prod/siemens-sensors-and-communication/>

Configuración del transmisor de presión.

Todas las funciones se seleccionan con la tecla de modo M conforme a la siguiente tabla. Si se pulsa la tecla M aparece el modo actual en la parte inferior izquierda sobre el indicador. Cada vez que se pulse la tecla el modo aumenta una unidad (excepto en mantenimiento y servicio). Con la tecla \uparrow y la tecla \downarrow se modifican los parámetros, el valor actual o la unidad física, y se visualiza en el LCD. El aparato retorna a la función "Valor de medición" cuando se excede el modo 11 con la tecla M ó 2 minutos después de la última pulsación de la tecla. Los valores ajustados permanecen memorizados.

Parametrización del sensor de presión

| INSTRUCCIONES DE SERVICIO PARA PARAMETRIZAR TRANSMISOR DE PRESION | | | | | |
|---|------|--|---------------------|-------|---|
| Función | Modo | Función de la tecla | | | Visualización, aclaraciones |
| | | ↑ | ↓ | M | |
| Valor medido | (1) | Visualización del valor medido modificar | Decimales modificar | ⇒ M2 | Valor medido en mA o % o en unidad física elegible |
| Contraseña | 2 | Mayor | Menor | ⇒ M4 | Introducir el número "99" |
| Unidad física | 4 | Modificar | | ⇒ M5 | Unidades técnicas de presión bar, mbar, Pa, kPa, MPa, mH ₂ O mmH ₂ O, psi, inH ₂ O, inHg, ftH ₂ O, mmHg, kg/cm ² , torr, atm Ajuste de fábrica en bares |
| Inicio del rango de medición "Escalado" | 5 | Mayor | Menor | ⇒ M6 | Inicio de medición en la unidad seleccionada (entrada numérica dentro del rango de medición máximo) Ajuste de fábrica = 0 bares |
| Fin del rango de medición "Escalado" | 6 | Mayor | Menor | ⇒ M7 | Fin de medición en la unidad seleccionada (entrada numérica dentro del rango de medición máximo) Ajuste de fábrica según el máx. rango de medición en bares |
| Valor límite superior Exceso | 7 | Mayor | Menor | ⇒ M8 | ↑, Límite de exceso para el valor límite ajustado (entrada numérica entre -10% y 110% del máx. rango de medición) Ajuste de fábrica = máx. rango de medición en bares |
| Valor límite inferior Quedar por debajo | 8 | Mayor | Menor | ⇒ M9 | ↓, Límite de quedar por debajo para el valor límite ajustado (entrada numérica entre -10% y 110% del máx. rango de medición) Ajuste de fábrica = 0 bares |
| Desplazamiento del punto cero | 9 | Mayor | Menor | ⇒ M10 | Valor de salida = Valor a la entrada + desplazamiento del punto cero (entrada numérica entre -10% y +10% del máx. rango de medición) Ajuste de fábrica = 0 bares |
| Límite superior de saturación de corriente | 10 | Mayor | Menor | ⇒ M11 | Saturación de corriente - arriba (rango ajustado 20,5 hasta 23 mA) Ajuste de fábrica = 20,5 mA |
| Límite inferior de saturación de corriente | 11 | Mayor | Menor | ⇒ M12 | Saturación de corriente - abajo (rango ajustado 3,6 hasta 3,8 mA) Ajuste de fábrica = 3,8 mA |
| Atenuación eléctrica | 12 | Mayor | Menor | ⇒ M1 | Constante de tiempo T ₆₃ en s (rango de ajuste 0,1 – 100 s) Ajuste de fábrica = 0,2 s |

Tabla # 3. 15: Parametrización del transmisor de presión

Fuente: <http://www.directindustry.es/prod/siemens-sensors-and-communication/>

3.8.1.1.5. Sensor de temperatura TIT.

En el módulo de banco de pruebas de procesos industriales fue instalado un transmisor de temperatura para montaje en exterior

dispone de un display y Pt 100 el modelo del equipo SITRANS TF2, quien tiene las siguientes características técnicas.

Características Técnicas Medidor Siemens Sitrans TF2

| SIEMENS SITRANS TF2 | |
|----------------------------|--|
| CARACTERISTICAS MECANICAS | |
| Principio de medicion | Termómetro de resistencia Pt100 clase B conforme a DIN IEC 751 |
| Material | Acero inoxidable |
| Grado de Protección | IP 65 |
| Temperature de trabajo | -10 + 70 ° C |
| Peso | Aprox 0.7 Kg |
| Longitud de la vaina | 170 mm |
| Rango de medicion | -50 °C ... +200 °C (-58 ... +392 °F) |
| CARACTERISTICAS ELECTRICAS | |
| Voltaje de alimentación | 24 vdc. |
| Consumo de Corrientes | (UH - 12 V)/0,023 A |
| Display | LCD 5 digitos |
| Salida | 4 - 20 mA |
| Conexión a proceso | Rosca de ½ NPT |



Tabla # 3. 16: Características del Transmisor de Temperatura

Fuente: <http://www.directindustry.es/prod/siemens-sensors-and-communication/>

Instalación de transmisor de temperatura

Para la instalación del transmisor de temperatura se procedieron con las siguientes recomendaciones por parte del fabricante.

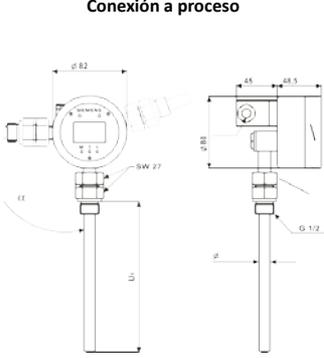
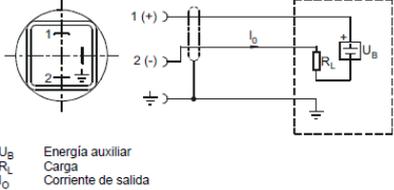
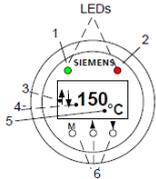
| | |
|---|---|
| <p>Conexión a proceso</p>  |  <p>Esquema de conexión</p> <p>Cable apantallado (diámetro 4,5 hasta 10 mm) con dos conductores introducidos a través de un racor atornillado para cables M16 x 1,5 (1/2" NPT). El blindaje del cable se conecta a tierra solamente en un punto (preferentemente en el armario de conexiones junto con los aparatos de medición y la alimentación). La conexión de puesta a tierra existente en el aparato está conectada a la caja.</p> <p> U_a Energía auxiliar R_L Carga I_o Corriente de salida </p> |
|  <ol style="list-style-type: none"> 1. LED rojo 2. LED verde 3. Display LCD exceso / quedar por debajo 4. Display LCD: Valor visualizado 5. Display LCD: Unidad física 6. Teclas de mando | <p>Modo de configurar</p> <p>Todas las funciones se seleccionan con la tecla de modo M conforme a la siguiente Tabla 1, página 91. Si se pulsa la tecla M aparece el modo actual en la parte inferior izquierda sobre el indicador, cuya función se puede tomar de la Tabla 1, página 91. Con la tecla \uparrow y la tecla \downarrow se modifican los parámetros, el valor actual o la unidad física, y se visualizan en el LCD.</p> <p>Manteniendo pulsada la tecla \uparrow o la tecla \downarrow se modifica el primer dígito del valor visualizado. Si el valor está por debajo o excede la cifra 0, con la tecla \uparrow o la tecla \downarrow pulsada se modifica el siguiente dígito del valor. Pulsando la tecla M Ud. confirma los parámetros ajustados y pasa al siguiente modo. El aparato retorna a la función "Valor de medición" cuando se excede el modo 12 con la tecla M ó 2 minutos después de la última pulsación de la tecla. Los valores ajustados permanecen memorizados.</p> |

Tabla # 3. 17: Pasos para la Instalación del Transmisor de temperatura

Fuente: <http://www.directindustry.es/prod/siemens-sensors-and-communication/>

Parametrización del transmisor de temperatura

| INSTRUCCIONES DE SERVICIO PARA PARAMETRIZAR TRANSMISOR DE TEMPERATURA | | | | | |
|---|------|--|-------------------------|--------------|--|
| Función | Modo | Función de la tecla | | | Visualización, Aclaraciones |
| | | ↑ | ↓ | M | |
| Valor medido | (1) | Modificar la visualización del valor de medición | Modificar los decimales | ⇒ M2 | Valor medido en mA ó % ó en Unidad física |
| Contraseña | 2 | Mayor | Menor | "99" ⇒ M4 | Registro de la contraseña "99" – Parámetros |
| Unidad de medida | 4 | Modificar | | ⇒ M5 | Unidades técnicas de temperatura °C, °F, °R o K Los parámetros 5, 6, 7, 8, y 9 se convierten de forma automática a la nueva unidad. Ajuste de fábrica °C |
| Inicio del rango de medición "Escalado" | 5 | Mayor | Menor | ⇒ M6 | Inicio del rango de medición en la unidad seleccionada (Entrada numérica entre -50 °C y 200 °C, observar la unidad seleccionada) Ajuste de fábrica 0 °C |
| Fin del rango de medición "Escalado" | 6 | Mayor | Menor | ⇒ M7 | Fin del rango de medición en la unidad seleccionada (Entrada numérica entre -50 °C y 200 °C, observar la unidad seleccionada). Diferencia entre el fin y el inicio del rango de medición ≥ 10K.) Ajuste de fábrica 100 °C |
| Valor límite superior Exceso | 7 | Mayor | Menor | ⇒ M8 | ↑, límite de exceso para el valor límite ajustado (Entrada numérica entre -55 °C y 210 °C, observar la unidad seleccionada) Ajuste de fábrica 100 °C |
| Valor límite inferior Quedar por debajo | 8 | Mayor | Menor | ⇒ M9 | ↓, límite de quedar por debajo para el valor límite ajustado (estándar 0,00 °C) (Entrada numérica entre -55 °C y 210 °C, observar la unidad seleccionada) Ajuste de fábrica 0 °C |

Tabla # 3. 18: instrucciones de servicio para parametrizar transmisor de temperatura

Fuente: <http://www.directindustry.es/prod/siemens-sensors-and-communication/>

Equipos de control.

Los equipos de control que tiene el modulo didáctico de banco de pruebas de procesos industriales son:

- PLC Siemens S7 – 300
- Variador de Frecuencia Siemens.

3.8.1.1.6. PLC SIEMENS S7 – 300

En el laboratorio de la Facultad Técnica se dispone de controlador lógica programable PLC de la marca Siemens modelo S7 – 300 que es considerado como un PLC de gama alta y mucho más que un controlador lógico programable, esto por la capacidad de colocar en un mismo chasis varios controladores que se comunican entre si mediante el Backplane pero con funcionamiento independiente, además el S7 – 300 combina el control secuencial de procesos y de movimiento mediante el uso de E/S y comunicaciones avanzadas.



Figura # 3. 29: PLC Siemens S7-300

Fuente: <http://www.directindustry.es/prod/siemens-sensors-and-communication/>

Las partes que conforman el PLC Siemens S7 – 300 para realizar el proceso de control de caudal por velocidad y la visualización de las variables nivel, presión y temperatura en tiempo real son:

- Procesador CPU modelo CPU 315F-2 PN/DP SIMATIC S7 – 300
- Módulo de entrada analógica 4 – 20 mA modelo SM331 AI8X12BIT # de referencia 331-7KF02-0AB0.

- Módulo entrada / salida analógica Modelo AI4/AO2X8BIT
de parte 334-0CE01-0AA0

Procesador CPU modelo CPU 315F-2 PN/DP SIMATIC S7 - 300



Figura # 3. 30: Procesador 315F-2

Fuente: <http://www.directindustry.es/prod/siemens-sensors-and-communication/>

Características del PLC Siemens S7 – 300

| SIEMENS CPU 315F-2 PN/DP SIMATIC S7 - 300 | |
|---|--|
| Características Principales | |
| Puertos de comunicación | Ethernet Serial |
| Opciones de Comunicación | Profibus DP / AP Modbus RTU Profinet |
| Comunicación del Puerto serial | Modbus RTU. Profinet Modbus TCP Master dp |
| Conexiones de controlador soportadas | Profinet 14x2 |
| Control redundante | Soporte completo |
| Lenguajes de programación | Ladder Funciones de bloque CFC STL SCL GRAPH AWL |
| CARACTERISTICAS TECNICAS | |
| Memoria de usuario | 512 Kbyte |
| Memoria de entradas y salidas | 2048 byte |
| Memoria de almacenamiento | 128 Kbyte |
| Entradas y salidas digitales | 5200 |
| Entradas y salidas análogas | 2600 |
| consumo de corriente | 750 mA |

Tabla # 3. 19: Características del PLC Siemens S7 – 300

Fuente: <http://www.directindustry.es/prod/siemens-sensors-and-communication/>

**3.8.1.1.7. Módulo de entrada analógica 4 – 20 mA modelo SM331
AI8X12BIT # de referencia 331-7KF02-0AB0.**

Este módulo es de ocho entradas analógicas de 4 – 20 mA con una resolución de 12 bit, con aislamiento galvánico a la interface del bus posterior y con respecto a la tensión de carga, este es un módulo analógico universal construido para los casos de aplicación más usual, va a ser utilizado para conectarse con la salida de corriente 4 -20 mA de los instrumento de caudal, presión, temperatura y nivel.



Figura # 3. 31: Módulo modelo SM331

Fuente: <http://www.directindustry.es/prod/siemens-sensors-and-communication/>

Características técnicas SM331 AI8X12BIT

| Dimensiones y peso | |
|--|--|
| Dimensiones A x A x | 40 x 125 x 117 P (en mm) |
| Peso | aprox. 250 g |
| Datos específicos del módulo | |
| Cantidad de entradas | 8 |
| ◆ en sonda tipo resistencia | 4 |
| Longitud de cable | máx. 200 m |
| ◆ con pantalla | máx. 50 m para 80 mV y termoelementos |
| Tensiones, intensidades, potenciales | |
| Tensión nominal de electrónica L + | 24 V c.c. alimentación para la electrónica L + |
| Alimentación de transductores de medida | |
| <input type="checkbox"/> corriente aliment. | máx. 60 mA (por canal) |
| <input type="checkbox"/> protección contra | sí cortocircuitos |
| Corriente constante para | típ. 1,67 mA sonda tipo resistencia |
| Separación galvánica | |
| <input type="checkbox"/> entre canales y bus | sí posterior |
| <input type="checkbox"/> entre canales y tensión | sí de alimentación de la electrónica |
| – no en transductor a 2 hilos | |
| Diferencia de potencial admisible | |
| <input type="checkbox"/> entre entradas y M_{ANA} (U_{CM}) | 2,5 V c.c. |
| – para señal = 0 V $M_{interna}$ (UI50) | |
| Aislamiento ensayado con | 500 V c.c. |
| Consumo | |
| <input type="checkbox"/> del bus posterior | máx. 50 mA |
| <input type="checkbox"/> de tensión de carga L + | máx. 30 mA (sin transductor a 2 hilos) |
| Disipación del módulo | típ. 1 W |

Tabla # 3. 20: Características técnicas SM331 AI8X12BIT

Fuente: <http://www.directindustry.es/prod/siemens-sensors-and-communication/>

Modulo entrada / salida analógica Modelo AI4/AO2X8BIT # de parte 334-0CE01-0AA0

Propiedades

El módulo de entradas/salidas analógicas SM 334; AI 4/AO 2 x 8/8

Bit presenta las propiedades siguientes:

- 4 entradas, 2 salidas.
- Resolución 8 bits.

- no parametrizable; ajuste del tipo de medición y de salida mediante cableado.
- Márgenes de medición, a elección, de 0 a 10 V ó de 0 a 20 mA.
- Márgenes de salida, a elección, de 0 a 10 V ó de 0 a 20 mA.
- Elección discrecional entre tensión e intensidad.
- Sin separación galvánica respecto a la conexión del bus posterior.
- Con separación galvánica respecto a la tensión de carga



Figura # 3. 32: Módulo SM 334; AI 4/AO 2 x 8/8 Bit

Fuente: <http://www.directindustry.es/prod/siemens-sensors-and-communication/>

Características técnicas del módulo SM 334; AI 4/AO 2 x 8/8 Bit

| Dimensiones y peso | |
|--|------------------------------------|
| Dimensiones A x A x P (en mm) | 40 x 125 x 117 |
| Peso | aprox. 285 g |
| Datos específicos del módulo | |
| Soporta operación sincronizada | no |
| Cantidad de entradas | 4 |
| Cantidad de salidas | 2 |
| Longitud de cable con pantalla | máx. 200 m |
| Tensiones, intensidades, potenciales | |
| Tensión nominal de carga L+ | 24 V c.c. |
| Tensión nominal | 24 V c.c. |
| tensión nominal de carga L+ | Separación galvánica |
| Formación de valores analógicos para las entradas | |
| Principio de medición | conversión de valores instantáneos |
| Período de integración/tiempo de conversión (por canal) | |
| Parametrizable | no |
| Período de integración en | 500 µs |

Tabla # 3. 21: Características del modulo SM 334; AI 4/AO 2 x 8/8 Bit

Fuente: <http://www.directindustry.es/prod/siemens-sensors-and-communication/>

3.8.1.1.8. Variador de frecuencia siemens micro máster 440

El laboratorio de la facultad técnica dispone de varias capacidades de variadores de frecuencia por lo que se realizó una clasificación acorde a las necesidades en la aplicación de nuestro banco de pruebas de procesos industriales.



Figura # 3. 33: Variador de frecuencia 440

Fuente: <http://www.directindustry.es/prod/siemens-sensors-and-communication/>

Características principales para la selección de un variador de frecuencia.

- La potencia del motor de la bomba seleccionada.
- Nivel de tensión de operación del motor de la bomba, se tiene previsto disponer de un motor con un nivel de tensión trifásica 230 vac / 60 Hz.
- Set de parámetros mínimos para operaciones de aceleración y desaceleración de los motores, operación del variador a bajas frecuencias, protecciones de sobrecorriente y sobrevoltaje para el motor, todo esto como mínimo.
- Grado de protección adecuado para la ubicación del variador en la parte interior de un tablero, como valor mínimo de grado de protección IP 20.

Ante lo expuesto se considera para nuestra tesis el variador de frecuencia de la serie MICROMASTER440 es una gama de convertidores de frecuencia también denominados variadores para modificar la velocidad del motor trifásico que tiene una capacidad de 0,75 HP, y un nivel de voltaje de 230vac.

Puesta en servicio con el panel BOP

Mediante el panel BOP se pueden modificar los valores de parámetros. Para parametrizar con el panel BOP se debe retirar el SDP y se debe colocar el BOP.

El panel BOP contiene una pantalla de siete segmentos en la que se muestran los números y valores de parámetros, mensajes de alarma y de fallo así como valores de consigna y valores reales. No es posible el almacenamiento de información de parámetros con el BOP.

La Tabla 3-2 muestra los ajustes por defecto de fábrica para funcionamiento usando el panel BOP.

Recomendación.

- Por defecto están bloqueadas las funciones de control del motor del BOP. Para controlar el motor mediante el panel BOP, se debe ajustar el parámetro P0700 a 1 y el parámetro P1000 a 1.
- El panel BOP se puede colocar y retirar del convertidor mientras se esté aplicando potencia.
- Si el panel BOP se ha ajustado como control E/S (P0700 = 1), el accionamiento se parará si se retira el panel BOP.



Figura # 3. 34: Panel BOP

Fuente: <http://www.directindustry.es/prod/siemens-sensors-and-communication/>.

Ajustes predeterminados para el panel BOP

| Parámetro | Significado | Por defecto Europa (Norteamérica) |
|-----------|------------------------------|--|
| P0100 | Modo operación Europa/USA | 50 Hz, kW (60Hz, hp) |
| P0307 | Potencia nominal del motor | Las unidades (kW o Hp) dependen del ajuste de P0100. [valor dependiente de la variante.] |
| P0310 | Frecuencia nominal del motor | 50 Hz (60 Hz) |
| P0311 | Velocidad nominal del motor | 1395 (1680) rpm [dependiendo de la variante] |
| P1082 | Frecuencia máxima del motor | 50 Hz (60 Hz) |

Tabla # 3. 222: Ajustes por defecto para funcionamiento mediante panel BOP

Fuente: <http://www.directindustry.es/prod/siemens-sensors-and-communication/>

3.8.1.1.9. Interface HMI

El dispositivo de visualización llamado también HMI (interface Hombre Maquina) del módulo de banco de pruebas es un panel operador SIMATIC OP177B 6" PN/DP STN DISPLAY 256 COLORES TACTIL Y TECLAS PROTOCOLO MPI/PROFIBUS DP INTERFAZ RS48/RS422/USB INTERFAZ ETHERNET 10/100, en el se puede observar el proceso que se esta controlando, asi como también ingresar y enviar al controlador para que este realice cambios en el proceso, esto a través del uso del software de programación Win CC Flexible



Figura # 3. 35: Interface HMI OP177B

Fuente: <http://www.directindustry.es/prod/siemens-sensors-and-communication/>

Características del panel HMI OP177B

| Características SIMATIC OP177B 6" PN/DP | |
|---|-----------------------------------|
| Configuración personalizada | Si |
| Display | Tamaño 5,7 in 120 mm x 90 mm |
| Tipo de display | STN, 256 colores |
| Resolución de imágenes | 320 x 240 |
| Elementos de mando | |
| Teclado | Teclado de membrana |
| Posibilidades de manejo | Teclas y tactil |
| Nº de teclas de función con LED | 26 |
| Tensión de alimentación | 24 vdc. |
| Procesador | Arm, 200 MHz |
| Memoria | Tipo flash RAM |
| Grado de Protección y clase de protección | |
| Frente | IP 65 NEMA 4X, NEMA 12 (montado) |
| Clase de protección (EN 60529) | IP 20 |
| NEMA | NEMA 4x, NEMA 12 |
| Software de Programacion | |
| Winn CC flexible | si |
| Peso | 1 Kg |
| Dimensiones | 243 x 212 mm |
| Puertos de comunicacion | Ethernet - RS 232 |

Tabla # 3.23: Características SIMATIC OP177B 6" PN/DP

Fuente: <http://www.directindustry.es/prod/siemens-sensors-and-communication/>.

Estructura del panel operador OP 177B

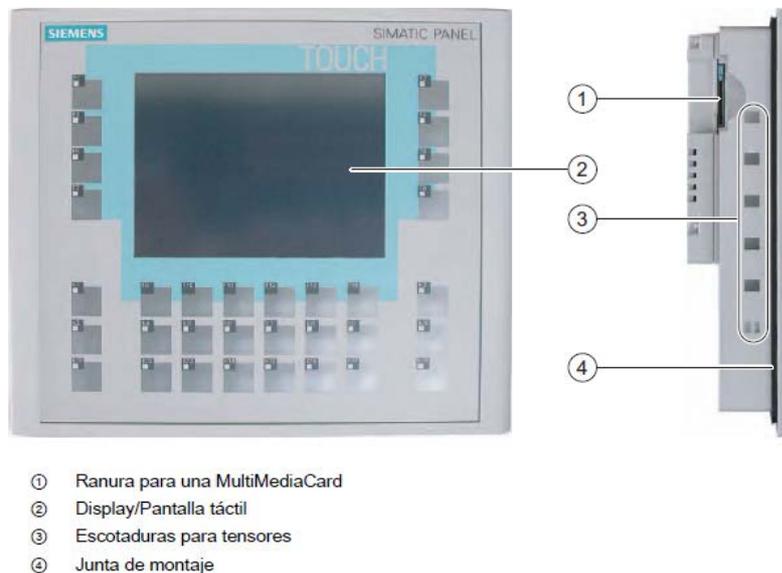


Figura # 3. 36: Panel Operador OP177B

Fuente: <http://www.directindustry.es/prod/siemens-sensors-and-communication/>

EL HMI que se va a desarrollar para el banco de pruebas se compone de la siguiente arquitectura de pantallas.

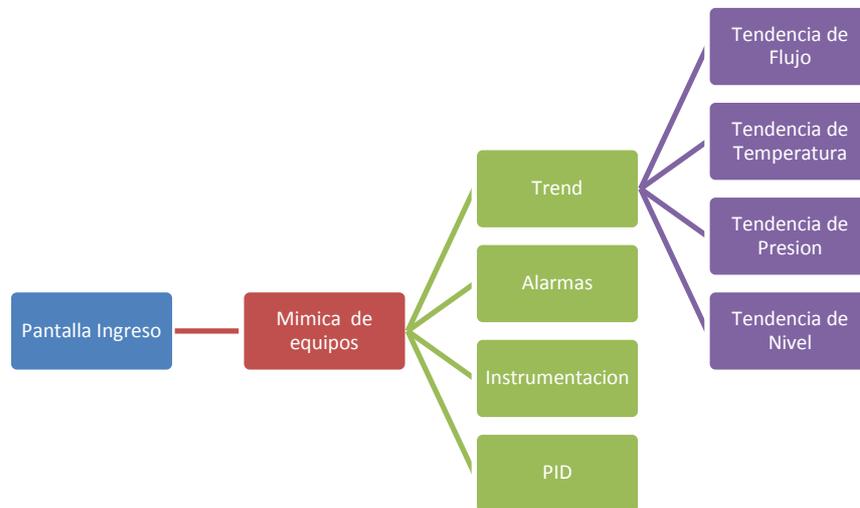


Figura # 3. 37: Arquitectura de la pantalla HMI

Fuente: Héctor Galvis y Humberto Zeas

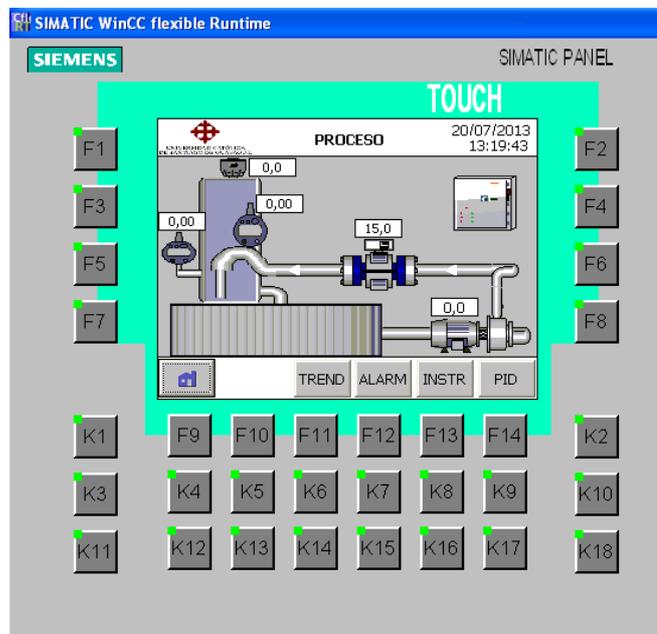


Figura # 3. 38: HMI panel operador.

Fuente: Héctor Galvis y Humberto Zeas

Tomando en cuenta la arquitectura del HMI antes descrita se realizarán seis tipos de ventanas que se describirán en forma general en la tabla.

| Ventana | Función |
|--|---|
| Pantalla de ingreso | Se visualiza la foto del proyecto, adicional tiene un link para ingresar a la pantalla de los equipos de instrumentación. |
| Pantalla de equipos de instrumentación | Se visualiza una mímica de la arquitectura del banco de pruebas junto con los valores de medicion de cada uno. |
| Trend o tendencias | Se visualiza las curvas de medicion correspondientes a las variables de flujo, temperatura, presión y nivel. |
| Alarmas | Se visualizara la alarma de nivel alto en el tanque de proceso. |
| Instrumentación | Se visualizara todos los valores de cada uno de las variable, involucradas en el proceso tales como cauda, nivel, presión temperatura y frecuencia. |
| Control PID | En esta pantalla se podrá setear el punto de consigna del lazo de control, además podrá tener la alternativa de que el sistema de control pueda trabajar en modo automático y manual asignándole el valor de frecuencia que requiera en el proceso. |
| Tendencia de flujo | Se visualizara la curva de comportamiento de la variable flujo |
| Tendencia Temperatura | Se visualizara la curva de comportamiento de la variable temperatura |
| Tendencia Presión | Se visualizara la curva de comportamiento de la variable presión. |
| Tendencia Nivel | Se visualizara la curva de comportamiento de la variable nivel. |

Tabla # 3. 24: Descripción de las ventanas del HMI

Fuente: Héctor Galvis y Humberto Zeas

3.8.1.1.10. Sistema Eléctrico

La descripción del diseño del sistema eléctrico se dividirá en 4 subsistemas para de esta manera facilitar su entendimiento y descripción la figura siguiente muestra los subsistemas que forman parte de diseño eléctrico

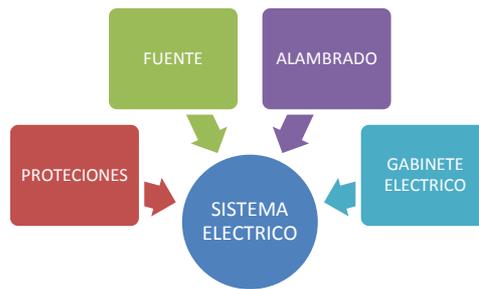


Figura # 3. 39: Subsistemas del sistema Eléctrico

Fuente: Héctor Galvis y Humberto Zeas

3.8.1.1.11. Protecciones.

En toda instalación eléctrica es necesaria la presencia de protecciones contra cortocircuitos y sobrecargas, para realizar el dimensionamiento de protecciones en el módulo del banco de pruebas se debe conocer el consumo de corriente de todos los dispositivos.

| Dispositivo | Consumo de corriente en Amp. |
|-------------------|------------------------------|
| Fuente | 2.5 |
| Medidor de caudal | 0.9 |
| Total | 3.4 |

Tabla # 3. 25: Consumo de alimentación de los equipos de 120-220 vac

Fuente: Héctor Galvis y Humberto Zeas

El consumo total de todos los dispositivos de alimentación es de 3.4 Amp. para el correcto funcionamiento de las protecciones debemos multiplicar a este valor por el factor de sobrecarga de 1.1.

$$3.4\text{Amp.} \times 1.1 = 3.74 \text{ Amp} \approx 4 \text{ Amp.}$$

La bomba centrífuga que se utilizara posee una corriente nominal de 1.8 Amp. Para dimensionar correctamente la protección necesaria se debe multiplicar a este valor por el factor de sobrecarga 1.2

1.8 Amp. X 1.2 = 2.6 Amp ≈ 3 Amp.

3.8.1.1.12. Cortocircuito

El dispositivo de protección contra cortocircuitos que se utilizarán serán breaker para los equipos de instrumentación, bomba centrífuga y fusible para la señal de 4 – 20 mA.

| Dispositivo | Tipo de proteccion | Corriente nominal | Voltaje de operacion | Montaje | Nomenclatura |
|--------------------------------------|--------------------|-------------------|----------------------|------------------------|--------------|
| Dispositivos de alimentacion 120 vac | breaker | 10 | 120 vac | Riel DIN | F1 |
| Bomba centrífuga | breaker | 10 | 220 vac | Riel Din | F2 |
| Fuente de alimentacion | Fusible tubular | 1 | 24 vdc | Porta fusible Rien Din | F3, F4, F5. |

Tabla # 3.26: Rango de voltaje para Protección

Fuente: Héctor Galvis y Humberto Zeas

3.8.1.1.13. Fuente de Alimentación 24 vdc.

Algunos dispositivos que se usara en el módulo del banco de pruebas se alimentan con 24 vdc para el dimensionamiento de de la fuente de alimentación la tabla indica el consumo de corriente de estos dispositivos.

| Dispositivo | Consumo de corriente Amp. |
|------------------------|---------------------------|
| Medidor de presión | 0,45 |
| Medidor de nivel | 0,70 |
| Medidor de temperatura | 0.09 |
| Total | 1.24 |

Tabla # 3.27: Consumo de corriente de los dispositivos

Fuente: Héctor Galvis y Humberto Zeas

El consumo total de corriente de los dispositivos a 24 vdc es de 1.24 Amp. La fuente de alimentación debe poseer como mínimo una salida de 1.5 amp.

I = 1.5 Amp.

3.8.1.1.14. Alambrado.

El color de los cables se seleccionara de acuerdo a la norma IEC 60446, la cual establece el siguiente código de colores de los cables:

| Voltaje | | Color |
|---------|-----------|----------|
| 24 VDC | 24 VDC | Rojo |
| | 0 VDC COM | Negro |
| 120 VAC | Fase | Negro |
| | Neutro | Blanco |
| | Tierra | Verde |
| 220 VAC | Fase T | Amarillo |
| | Fase R | Azul |
| | Fase S | Rojo |
| | Neutro | Blanco |
| | Tierra | Verde |

Tabla # 3.28: Color de acuerdo al voltaje

Fuente: Héctor Galvis y Humberto Zeas

3.8.1.1.15. Alambrado de Instrumentación.

Al hablar de alambrado de instrumentación nos referimos al cableado que existirá entre los dispositivos que poseen una entrada / salida análoga o digital y el PLC.

| Dispositivo | Señal |
|---------------------------|--------------------------------------|
| Transmisor de temperatura | Señal de corriente análoga 4 – 20 mA |
| Transmisor de caudal | Señal de corriente análoga 4 – 20 mA |
| Transmisor de presión | Señal de corriente análoga 4 – 20 mA |
| Transmisor de nivel | Señal de corriente análoga 4 – 20 mA |
| PLC | Señal de corriente análoga 4 – 20 mA |

Tabla # 3.29: Cableado del alambrado de instrumentación

Fuente: Héctor Galvis y Humberto Zeas

Para el alambrado de instrumentación se utilizara cable marca Belden tipo AWG flexible debido a que se lo considera como cable de instrumentación de acuerdo a la norma MIL – W – 16878, cuyas características del cable son color gris calibre # 18 máximo voltaje 300 v temperatura máxima 105⁰ C corriente máxima 7 amp.

3.8.1.1.16. Gabinete eléctrico

Los parámetros con los que debe cumplir el gabinete eléctrico de acuerdo al ambiente de trabajo y a las características del banco de procesos se detallan en la siguiente tabla.

| Parámetro | Especificación | Detalle |
|------------------------|-----------------------------------|--|
| Voltaje de operación | 220 VAC | Voltaje de alimentación del banco |
| Corriente de operación | 10 amp | Corriente de operación del banco |
| Numero de circuitos | 2 | Numero de circuitos que se encuentran dentro del gabinete |
| Material y espesor | Hierro negro de 0,9 mm de espesor | Material de fabricación y espesor según el numero de circuitos, para baja tensión son adaptados de las normas INEN NTE 2568 Y NTE 2569 |
| Grado de protección IP | 64 | De acuerdo al ambiente de trabajo norma IEC 60529 |
| Dimensiones | 40 x 40 x 20 cm | De acuerdo a las dimensiones de los dispositivos |

Tabla # 3.30: Parámetro del Gabinete Eléctrico

Fuente: Héctor Galvis y Humberto Zeas

El gabinete eléctrico que fue instalado está fabricado en hierro negro con un espesor de 1.2 mm posee tratamientos de superficies anti-

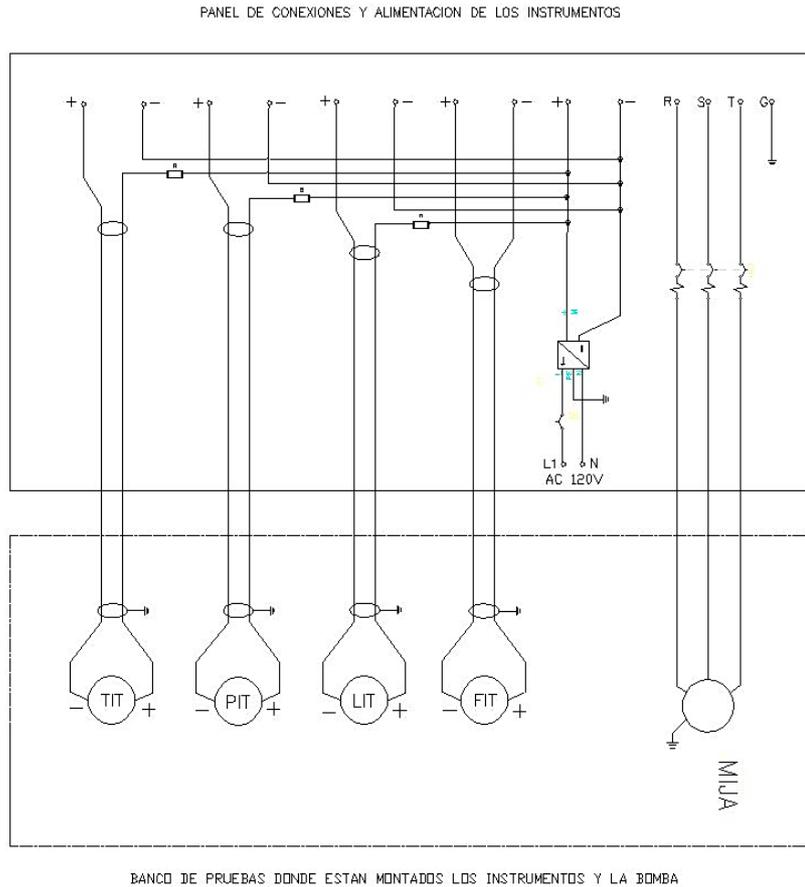
oxidantes y pintura electrostática esmaltada, además cuenta con un grado de protección IP 64 y sus dimensiones son 40x40x20 cm.

En la figura 3.40 muestra el interior del panel eléctrico con sus componentes y las conexiones eléctricas.



Figura # 3. 40: Gabinete Eléctrico
Fuente: Héctor Galvis y Humberto Zeas

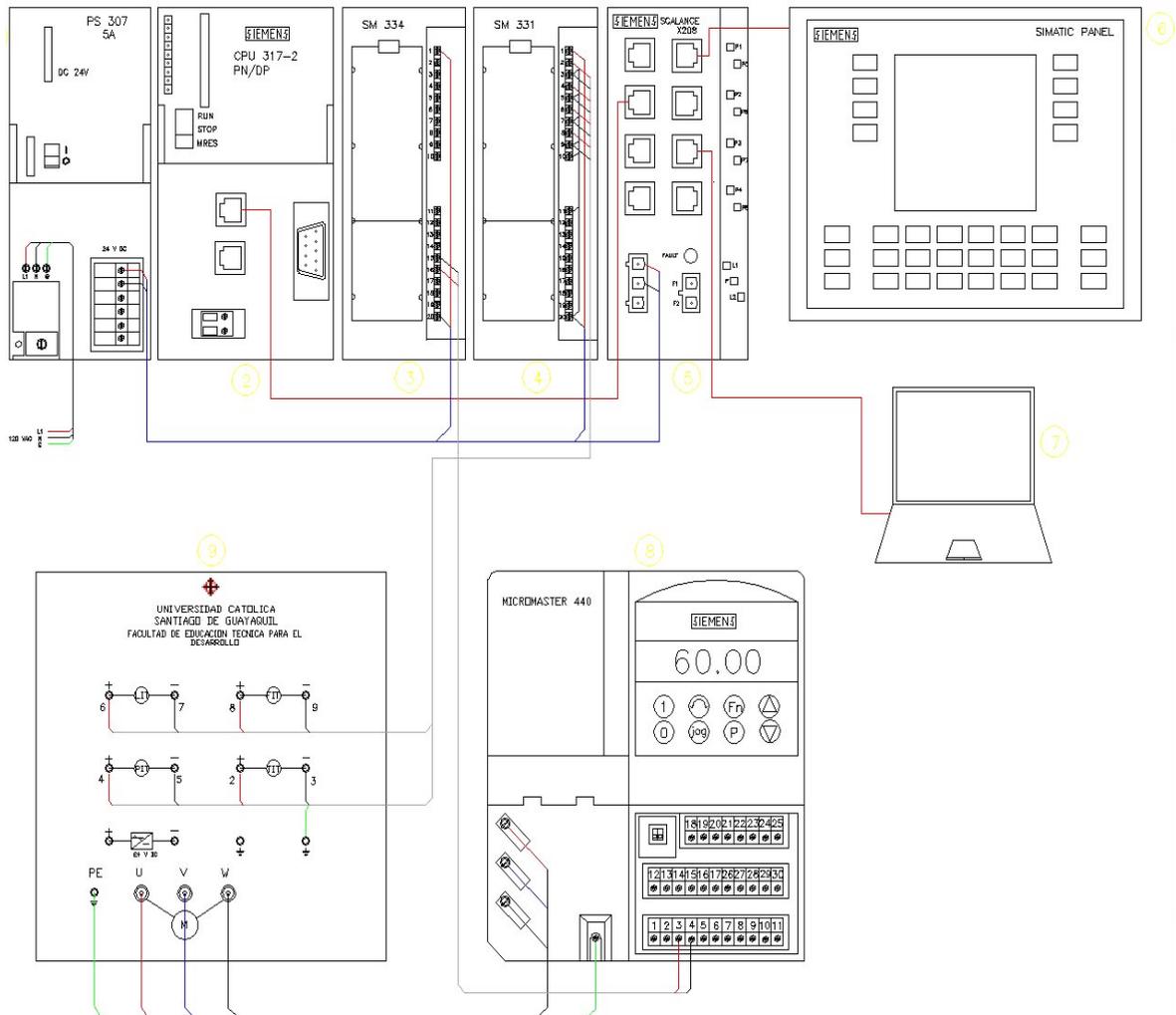
ESQUEMA ELÉCTRICO DEL PANEL Y EL BANCO DE PRUEBAS



| LISTA DE MATERIAL | | | | |
|-------------------|------|----------|------------|--|
| ITEM | CANT | PART NO. | FABRICANTE | DESCRIPCION |
| 1 | 1 | MOT 1 | WEB | MOTOR ELECTRICO 3F,220V,1/2 HP 3400RPM |
| 2 | 1 | FT | SIEMENS | 5ITRANS FM MAGFLG MAG 8000 |
| 3 | 1 | LIT | SIEMENS | 5ITRANS PROBE LU 7ML1898-EN102 |
| 4 | 1 | PIT | SIEMENS | 5ITRANS P SERIE 2D 7MF1080 |
| 5 | 1 | TIT | SIEMENS | 5ITRANS TP2 |
| 6 | 1 | CB1 | SCHNEIDER | BREAKER CP 10A |
| 7 | 1 | CB2 | SIEMENS | BREAKER 1P 10A |
| 8 | 1 | G1 | SOLA | FUENTE DE PODER SDN 2,5-24-100P |
| 9 | 4 | F1-F4 | WAGO | MINIFUSIBLE 1A |
| 9 | 12 m | F1-F4 | BEIDEN | CABLE APANTALLADO 2X16AWG |

Figura # 3. 41: Esquema Eléctrico del Panel y el Banco de Pruebas
Fuente: Héctor Galvis y Humberto Zeas

CONEXIÓN ELÉCTRICA DESDE EL PANEL DEL BANCO HACIA EL PLC Y VARIADOR



| LISTA DE MATERIAL | | | | |
|-------------------|------|-----------------|------------|---------------------------------------|
| ITEM | CANT | PART NO. | FABRICANTE | DESCRIPCION |
| 1 | 1 | PS307-5A | SIEMENS | FUENTE DE PODER 24V DC |
| 2 | 1 | CPU 317-2 | SIEMENS | CPU DEL PLC S7300 |
| 3 | 1 | SM334 | SIEMENS | MODULO DE ANALOGICO DE 4 ENT. Y 2SAL. |
| 4 | 1 | SM331 | SIEMENS | MODULO ANALOGICO DE 8 ENTRADAS 4-20mA |
| 5 | 1 | SCALANCE X200B | SIEMENS | INDUSTRIAL ETHERNET SWITCH |
| 6 | 1 | OP 177B | SIEMENS | PANEL DEL OPERADOR SIMATIC HMI |
| 7 | 1 | PC | | COMPUTADOR PORTATIL O DE ESCRITORIO |
| 8 | 1 | MICROMASTER 440 | SIEMENS | VARIADOR DE FRECUENCIA |
| 9 | 1 | PANEL | BEAUCOUP | PANEL DE CONEXIONES DEL BANCO |

Figura # 3. 42: Conexión eléctrica desde el panel del banco hacia el PLC y variador
Fuente: Héctor Galvis y Humberto Zeas

CAPITULO 4

4. ANÁLISIS DE RESULTADOS DEL FUNCIONAMIENTO DEL BANCO DE PRUEBAS.

4.1. DESARROLLO DEL SOFTWARE DE SOPORTE

Para el desarrollo del software de soporte se debe primero definir el sistema de control a implementarse; luego, es necesario describir las acciones de control que se requieren implementar para el funcionamiento del módulo utilizando diagramas de flujo y la forma en la que se utiliza el software de programación para crear las pantallas a implementarse para el desarrollo de la HMI en la pantalla táctil.

4.2. DEFINICIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL

Como se mencionó anteriormente en el módulo de control de flujo implementado se maneja un sistema de control de lazo cerrado con realimentación negativa, teniendo para ello un controlador (PLC), (variador de velocidad), la planta (una bomba) y un sensor de flujo.

El valor del set point (SP), que para este caso es el valor de flujo deseado, se pensó en ingresarlo por medio de la pantalla del SIMATIC HMI, desarrollada con WinCC flexible, por otro lado, el sensor y transmisor de flujo mediría el flujo existente en la tubería de salida y enviarían esta información al PLC. Este valor se compararía con el de consigna y la diferencia resultante entre el set point y la señal de proceso, correspondería a la señal de error que se utilizaría para las tareas de control.

En base a la señal de error obtenida se pensó en manejar un controlador PID que proporcionaría la señal del control para el variador de velocidad de la bomba; si las condiciones de carga varían, haciendo que el flujo de agua tienda a disminuir o aumentar hasta que la operación de la bomba sea insuficiente para mantener la consigna (set point).

En resumen, la bomba es accionada bajo control del variador de velocidad y, dependiendo del set point y de la carga, será accionada la bomba.

4.3. DEFINICIÓN DE LAS ACCIONES DE CONTROL

Para el control del sistema se pensó en dos opciones: Modo Rampa y Modo Automático.

La opción Modo Rampa permitiría setear la frecuencia de operación y el tiempo de aceleración para la bomba. Esto en el caso de que se requiera verificar el adecuado desempeño del variador de velocidad y el de la bomba. Este modo puede servir para estudiar la característica del flujo en función de la variación de velocidad de las bombas.

La opción Modo Automático permitiría ingresar el valor del set point a través de la pantalla táctil o desde la HMI, en unidades de metros cúbicos por hora. Ingresado el set point se daría inicio al control automático del sistema. La respuesta del sistema en lazo cerrado se deberá poder observar en la pantalla táctil.

Como ya se indicó anteriormente, se debe tomar en cuenta que el control de la bomba dependerá directamente del desempeño del control PID implementado en el PLC.

La frecuencia de operación de la bomba dependerá del punto de consigna ingresado; es decir el valor de frecuencia será asignado de manera automática por el control PID.

Cabe indicar que la operación en Modo Automático está restringida a flujos con un rango que va desde 3 hasta 9 m³ / h.

4.4. DESCRIPCIÓN DEL SOFTWARE STEP 7 BASIC

Para la programación del PLC SIEMENS S7 300 se utiliza el software STEP 7 BASIC V 5.5 Este software permite configurar, administrar y programar los PLC's S7- 300.

Básicamente la creación de un nuevo proyecto en STEP 7 BASIC requiere los siguientes pasos:

Crear proyecto nuevo

En la pantalla de inicio aparece por defecto seleccionada la opción “Abrir proyecto existente” y se despliega una lista con los proyectos que se hayan guardado previamente.

Para iniciar un nuevo proyecto se selecciona la opción “Crear-proyecto”, como lo indica la siguiente figura.

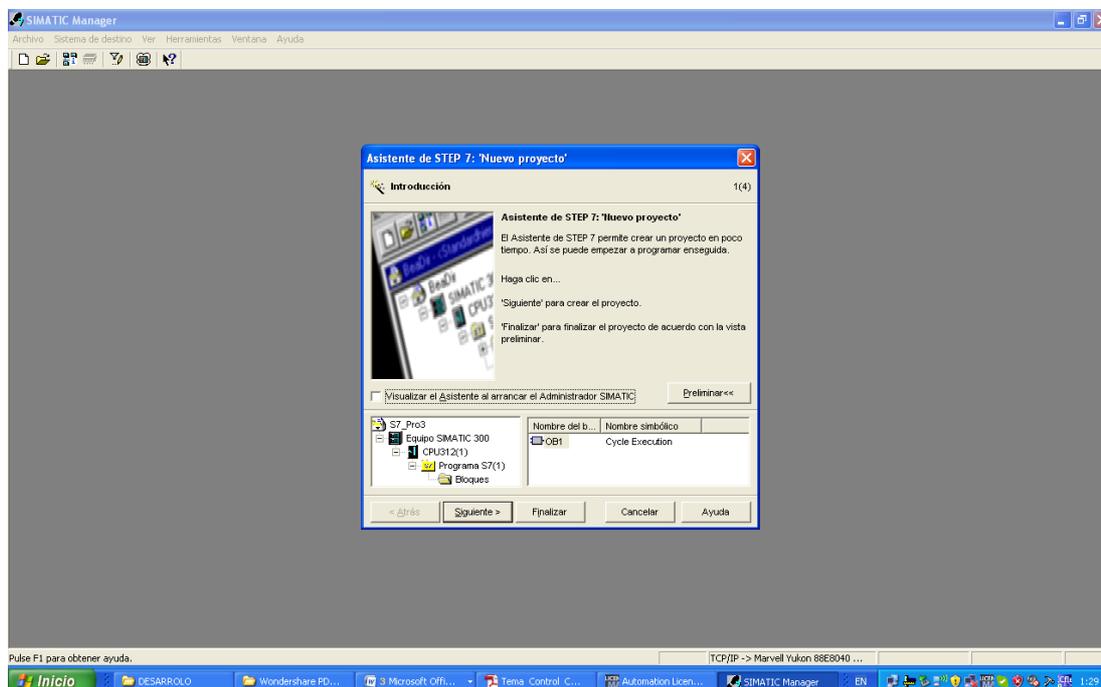


Figura # 4. 1: Pantalla inicio, crear nuevo proyecto
Fuente: Héctor Galvis y Humberto Zeas

Configuración de hardware

Para este proyecto se está utilizando un PLC S7-300 para lo cual en el rack o bastidor colocamos una fuente de alimentación PS 307 5A la CPU 315F-2 PN/DP esta CPU tiene características especiales de *PROFIsafe* tiene 2 puertos Ethernet y un puerto *profibus*, se está usando 3 módulos de señal.

DI16/DO16x24V/0.5A

AI4/AO2x8/8Bit

AI8x12Bit

Se está comunicando en Ethernet con un panel operador OP177B 6" PN/DP a color las direcciones IP OP 192.168.0.11 y del PLC es 192.168.0.1

La configuración de la tarjeta analógica de 8 entradas canal 0, 1, 2, 3, 6 y 7 está a 4 hilos y los canales 4 y 5 a 2 hilos el adaptador de margen esta en C C D C.

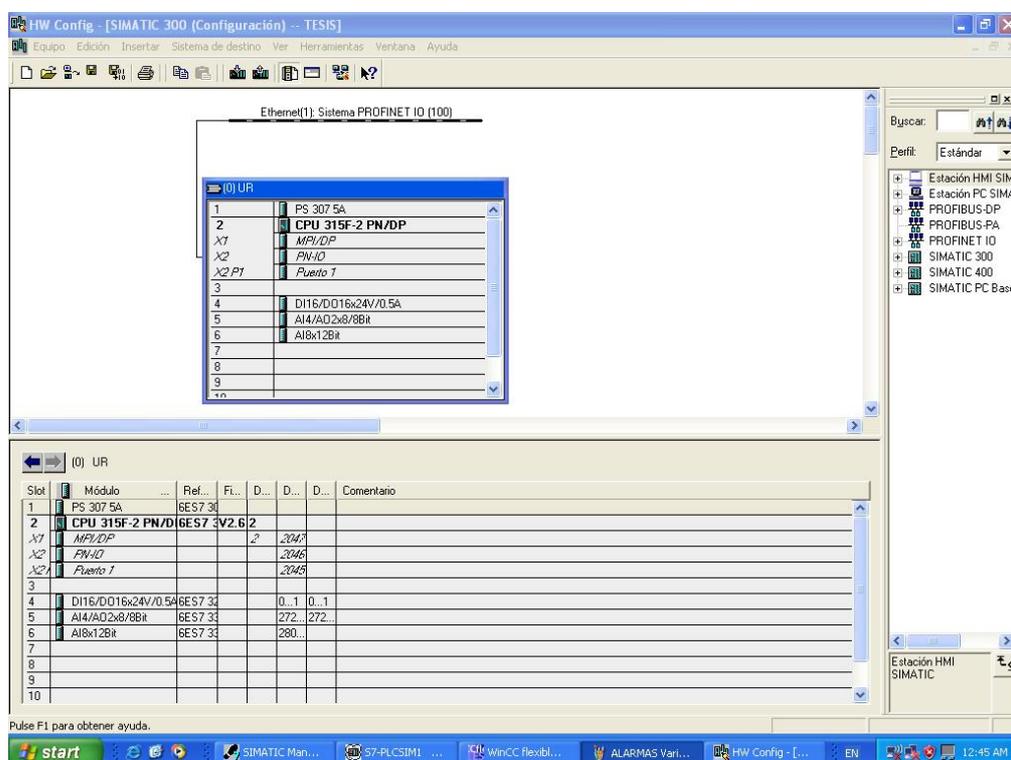


Figura # 4. 2: Configuración del SIMATIC 300
Fuente: Fuente: Héctor Galvis y Humberto Zeas

En la nueva pantalla que aparece al dar clic en “agregar dispositivos “se puede elegir entre tres opciones: PLC, HMI o Sistema PC. Con la opción PLC se despliega una lista con varios modelos de CPU. Se elige el CPU, para el presente caso, se selecciona el modelo luego aparece la ventana de configuración del equipo. En ella se debe ingresar los módulos que conforman al equipo: módulos E/S, módulos de comunicación, etc. Para ello se selecciona del catálogo de la derecha los módulos correspondientes y se los va arrastrando y colocando en su posición.

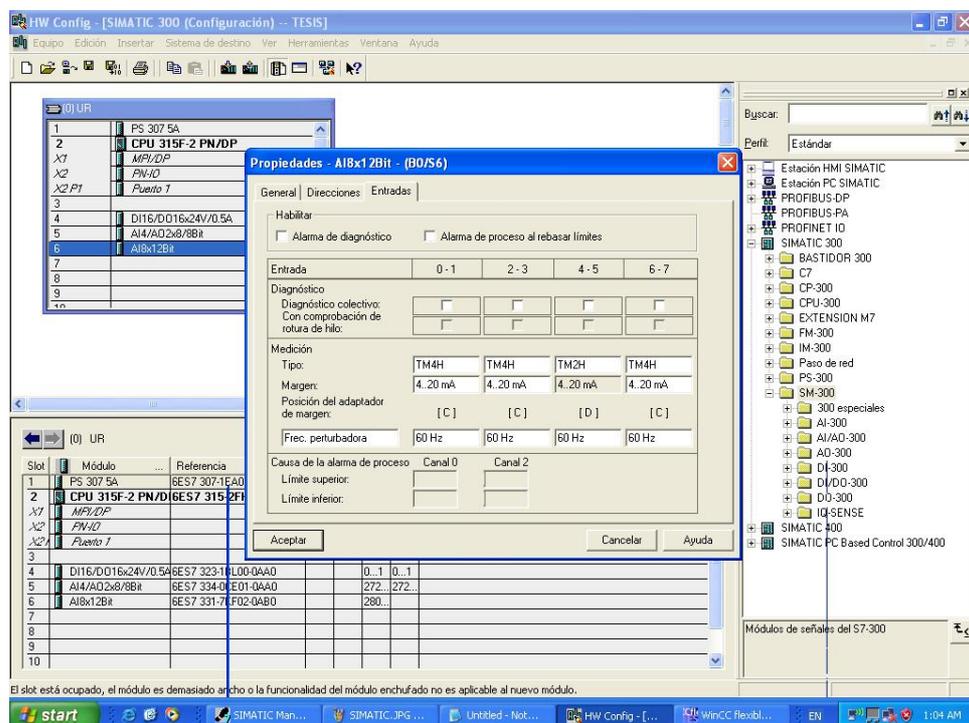


Figura # 4. 3: Pantalla agregar dispositivos
Fuente: Fuente: Héctor Galvis y Humberto Zeas

Transferir configuración al PLC

Antes de transferir la configuración se debe asignar una dirección IP al PC y al PLC. El el PLC se accede a la configuración de la dirección IP dando clic sobre la CPU y en la ventana de propiedades dentro de la opción “PROFINET interface”.

Para la asignación de las direcciones IP, se utiliza las direcciones propuestas.

en la siguiente figura se está comunicando en Ethernet con un panel operador OP177B 6" PN/DP a color las direcciones IP OP 192.168.0.11 y del PLC es 192.168.0.1

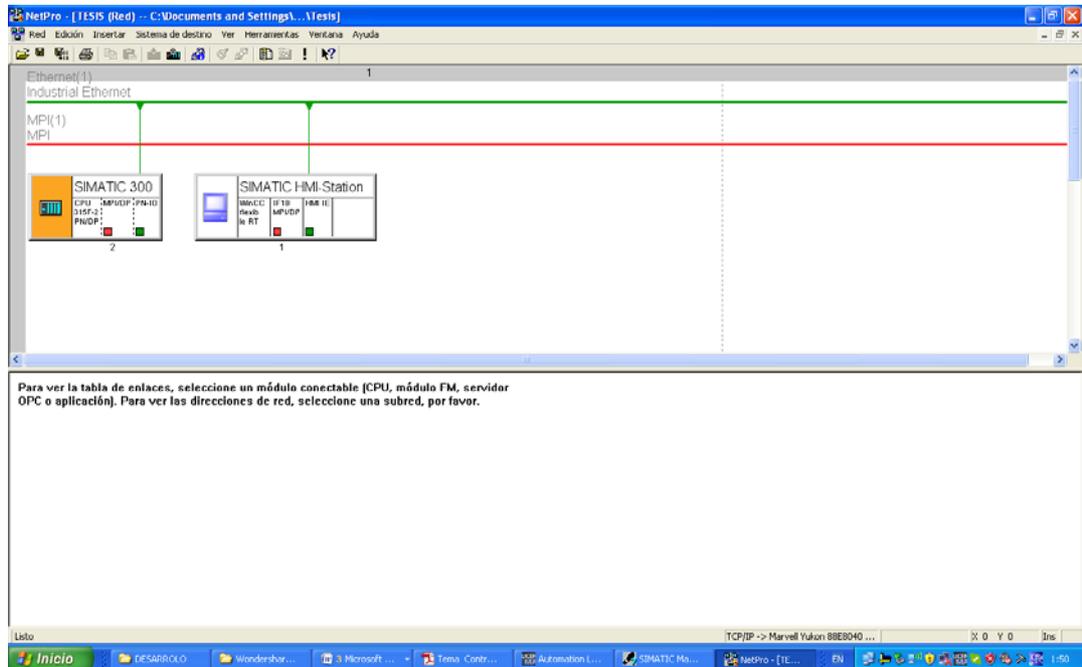


Figura # 4. 4 : Dirección IP del PLC
Fuente: Fuente: Héctor Galvis y Humberto Zeas

4.5. DESARROLLO DEL PROGRAMA PARA EJECUTAR LAS ACCIONES DE CONTROL DEL MÓDULO

4.5.1. Aacciones de control del módulo preparación para la programación del PLC s7-300

S7-300 permite varios conceptos de programación: lineal, estructurada en áreas y estructura estructurada, para ello posee distintos bloques.

El OB1 es el bloque principal de programación y corre cíclicamente.

Existen otros bloques OB, todos activados por el sistema operativo del PLC, algunos de ellos se activan en el arranque mientras que otros se pueden activar cíclicamente.

Se tienen también los bloques FC o “function call”, que pueden ser llamados por el OB1 o por cualquier otra subrutina. Se tiene el bloque “function block” FB que posibilita programar estructuradamente.

En la programación lineal todo el programa se encuentra en el OB1, su uso es conveniente para pequeñas aplicaciones, pues, en el caso de un programa extenso, se dificulta su seguimiento, aumentando las posibilidades de error.

Se puede simplificar la programación agrupando parte de ella en subrutinas o “function call”, en lo que se denomina programación estructurada en áreas. En el PLC S7-3 también se puede programar de forma estructurada permitiendo simplificar tiempos de programa, uso de memoria, sencillez de programación a través de los “function blocks FB”

4.5.2. Descripción del programa Bloques de organización OB

Los bloques de organización (OB) constituyen el interface entre el sistema operativo y el programa de usuario. Son llamados por el sistema operativo y controlan el procesamiento cíclico y controlado por alarmas del programa, el comportamiento de arranque del sistema de automatización y el tratamiento de los errores. Programando los bloques de organización se define el comportamiento de la CPU.

4.5.3. OB1 Ejecución cíclica

Aquí tendremos todos los llamados a las subrutinas y encontraremos funciones como las que se han hecho de marcas especiales siempre 1 y siempre 0.

El sistema operativo de la CPU del S7 ejecuta el OB 1 de forma cíclica: Una vez finalizada la ejecución del OB 1, el sistema operativo comienza a ejecutarlo de

nuevo. La ejecución cíclica del OB 1 comienza una vez que el arranque ha finalizado. En el OB 1 es posible realizar la llamada a bloques de función (FBs, SFBs) o a funciones (FCs, SFCs).

4.5.4. OB35 OBs de alarma cíclica (OB 30 hasta OB 38)

S7 dispone de hasta nueve OBs de alarma cíclica (OB 30 a OB 38). Con su ayuda es posible arrancar programas a intervalos temporales equidistantes. La tabla siguiente muestra los valores pre ajustado para las bases de tiempo y las prioridades de los OBs de alarma cíclica. El OB35 se ejecuta cada 100ms en este bloque se está haciendo el llamado del bloque PID.

4.5.5. OB80 OB de error de tiempo

El sistema operativo de la CPU llamará al OB 80 cuando en la ejecución de un OB surja uno de los siguientes errores: se ha excedido el tiempo de ciclo, error de acuse en el procesamiento de un OB, adelanto de la hora (salto horario) para el arranque de un OB, regreso a RUN después de CiR. Si surge por ejemplo un evento de arranque de un OB de alarma cíclica antes de haber concluido la ejecución anterior de este mismo OB, el sistema operativo llama entonces al OB 80.

Si el OB 80 no ha sido programado, la CPU pasa al estado operativo STOP.

4.5.6. OB121 OB de error de programación

El sistema operativo de la CPU llama al OB 121 cuando aparece un evento activado por un error durante la ejecución del programa. Así por ejemplo, si dentro del programa se llama a un bloque que no fue cargado en la CPU, el OB 121 será invocado.

4.5.7. OB122 OB de error de acceso a la periferia

El sistema operativo de la CPU llama al OB 122 cuando aparece un error al acceder a datos de un módulo. Cuando por ejemplo, la CPU reconoce un error de lectura al acceder a datos de un módulo de señales, el sistema operativo llama entonces al OB 122.

4.5.8. Bloque de funciones FB

Los bloques de función son bloques programables. Un FB es un bloque "con memoria". Dispone de un bloque de datos asignado como memoria (bloque de datos de instancia). Los parámetros que se transfieren al FB, así como las variables estáticas, se memorizan en el DB de instancia. Las variables temporales se memorizan en la pila de datos locales.

Un FB contiene un programa que se ejecuta siempre cuando el FB es llamado por otro bloque lógico. Los bloques de función simplifican la programación de funciones complejas de uso frecuente.

4.5.9. FB41 Regulación continua con el SFB 41/FB 41 "CONT_C"

El SFB/FB "CONT_C" (continuous controller) sirve para la regulación de procesos industriales con magnitudes de entrada y salida continuas utilizando sistemas de automatización SIMATIC S7. Mediante la parametrización es posible conectar o desconectar las funciones parciales del regulador PID, adaptándolo así al proceso regulado.

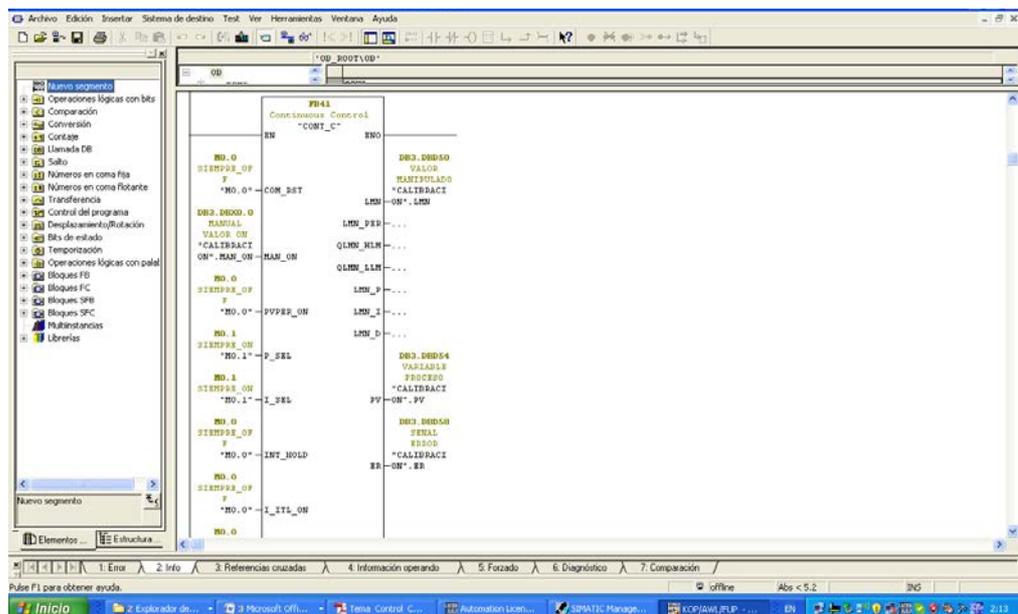


Figura # 4. 5: Bloque de control PID SFB 41/FB 41 "CONT_C"
Fuente: Fuente: Héctor Galvis y Humberto Zeas

El cálculo de los valores en los bloques de regulación sólo será correcto si el bloque se llama en intervalos regulares. Por esa razón debería llamar los bloques de regulación en un OB de alarma despertador OB (OB 30 a OB 38). El intervalo debe especificarse en el parámetro CYCLE.

4.5.10. Funciones

Las funciones son bloques programables. Una función es un bloque lógico "sin memoria". Las variables temporales de las FCs se memorizan en la pila de datos locales. Estos datos se pierden tras el tratamiento de las FCs. Para fines de memorización de datos, las funciones pueden utilizar bloques de datos globales.

| Nombre del objeto | Nombre simbólico | Lenguaje | Tamaño en la memor... | Tipo | Versión (encabezado) | Nombre (enca... |
|-------------------|-----------------------|----------|-----------------------|-------------------------|----------------------|-----------------|
| Datos de sistema | ... | ... | ... | SDB | ... | ... |
| OB1 | EJECUCION_CICLICA | KOP | 78 | Bloque de organizaci... | 0.1 | ... |
| OB35 | CYC_INT5 | KOP | 378 | Bloque de organizaci... | 0.1 | ... |
| OB80 | CYCL_FLT | AWL | 38 | Bloque de organizaci... | 0.1 | ... |
| OB121 | PROG_ERR | AWL | 38 | Bloque de organizaci... | 0.1 | ... |
| OB122 | MOD_ERR | AWL | 38 | Bloque de organizaci... | 0.1 | ... |
| FB41 | COND_C | SCL | 1160 | Bloque de función | 1.4 | COND_C |
| FC1 | INSTRUMENTACION | KOP | 682 | Función | 0.1 | ... |
| FC2 | ALARMAS | AWL | 106 | Función | 0.1 | ... |
| FC5 | ENTRADA ANALOGICA V/I | KOP | 304 | Función | 0.1 | ... |
| FC105 | SCALE | AWL | 244 | Función | 2.1 | SCALE |
| FC106 | UNSCALE | AWL | 324 | Función | 2.0 | UNSCALE |
| DB1 | DATOS_SENSOR | DB | 70 | Bloque de datos | 0.1 | ... |
| DB2 | DATOS_PID | DB | 162 | DB de instancia del ... | 0.0 | ... |
| DB3 | CALIBRACION | DB | 98 | Bloque de datos | 0.1 | ... |
| DB4 | DB_ALARMAS | DB | 40 | Bloque de datos | 0.1 | ... |
| VAT_1 | VAT_1 | ... | ... | Tabla de variables | 0.1 | ... |

Figura # 4.6: Bloques de funciones programables
Fuente: Fuente: Héctor Galvis y Humberto Zeas

Como una FC no tiene asignada ninguna memoria, se han de indicar siempre parámetros actuales. A los datos locales de una FC no se pueden asignar valores iniciales.

La FC contiene un programa que se ejecuta cada vez que la FC es llamada por otro bloque lógico. Las funciones se pueden utilizar para devolver un valor de función al bloque invocante (ejemplo: funciones matemáticas) ejecutar una función tecnológica (ejemplo: control individual con combinación binaria).

4.5.11. FC1 Instrumentación

En este bloque tenemos todas las entradas y salidas analógicas realizando la lectura de las variables a controlar para convertirlas en unidades de ingeniería tenemos Temperatura de 0 - 100 C presión de 0 - 10 BAR nivel de 0 a 62 centímetros y Flujo 0 - 20 M3/H aquí se realiza el control de velocidad en base al flujo por medio del PID obteniendo una variación de Frecuencia de 0 a 60hz.

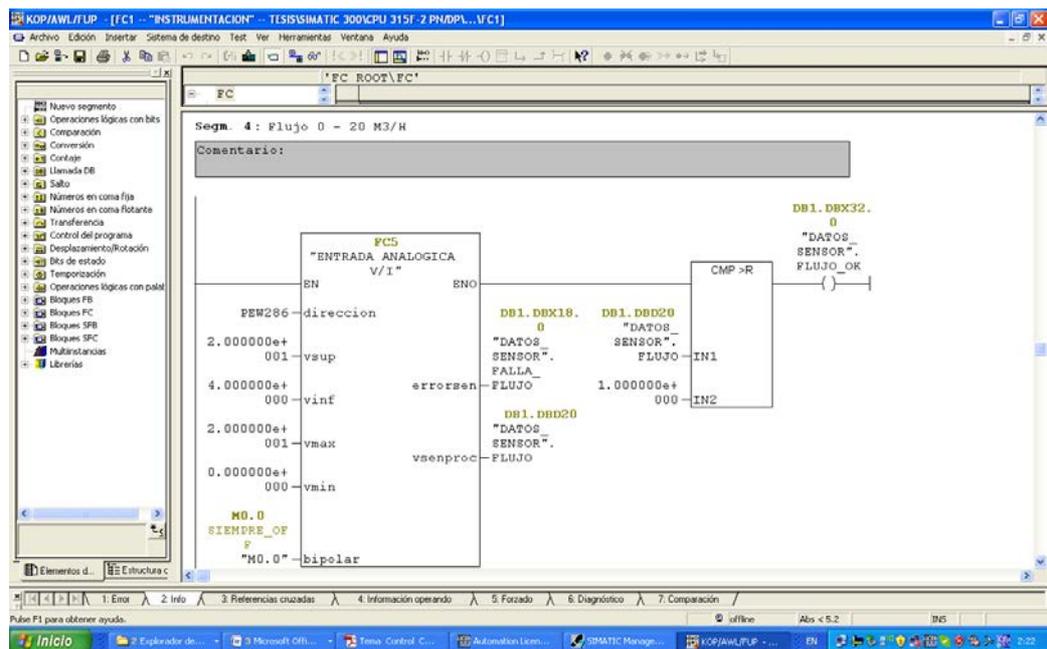


Figura # 4.7: Pantalla CFI instrumentación
Fuente: Fuente: Héctor Galvis y Humberto Zeas

4.5.12. FC2 Alarmas

Se ha programado las siguientes alarmas de nivel alto del tanque si este valor es mayor o igual a 60 centímetros muestra una alarma así mismo se visualizara si los instrumentos de campos están en mal estado.

4.5.13. FC5 Entradas analógicas V/I

En esta funcione realizamos el cálculo para la conversión de unidades en base a la siguiente ecuación.

Ecuación $y = ((v_{max}-v_{min}) / (v_{sup}-v_{inf})) * (valores_{sen}-v_{inf}) + v_{min}$ y las funciones siguientes.

4.5.14. FC105 Scale

La función "Escalar valores" (*SCALE*) toma un valor entero en la entrada IN y lo convierte en un valor real, convirtiéndolo a escala en un rango comprendido entre un límite inferior y un límite superior (LO_LIM y HI_LIM). El resultado se escribe en la salida OUT.

4.5.15. FC106 Unscale

La función "Desescalar valores" (*UNSCALE*) toma en la entrada IN un valor real que está ajustado a escala en un rango comprendido entre un límite inferior y un límite superior (LO_LIM y HI_LIM), y lo convierte en un valor entero. El resultado se escribe en la salida OUT.

4.5.16. DB Bloque de datos

Al contrario de los bloques lógicos, los bloques de datos no contienen instrucciones STEP 7. En cambio, sirven para depositar datos de usuario, es decir que los bloques de datos contienen datos variables con los que trabaja el programa de usuario. Los bloques de datos globales contienen datos de usuario utilizables desde otros bloques.

4.5.17. DB1 datos del sensor

Aquí se depositan todos los valores de los sensores.

4.5.18. DB2 datos PID

Este bloque está ligado al FB41 todo bloque de función necesita su bloque de organización para su almacenamiento de variables a procesar en este caso los del PID.

4.5.19. DB3 Calibración

La calibración del PID se la da desde el HMI este bloque se van a escribir todos los datos ingresado desde el HMI para la calibración de nuestro bloque PID.

4.5.20. DB4 Alarmas

Todos los bits de alarmas se escriben en este DB estos datos están en Word.

4.5.21. Definición del algoritmo de control

Para el desarrollo del programa del PLC se plantea el siguiente algoritmo de control:

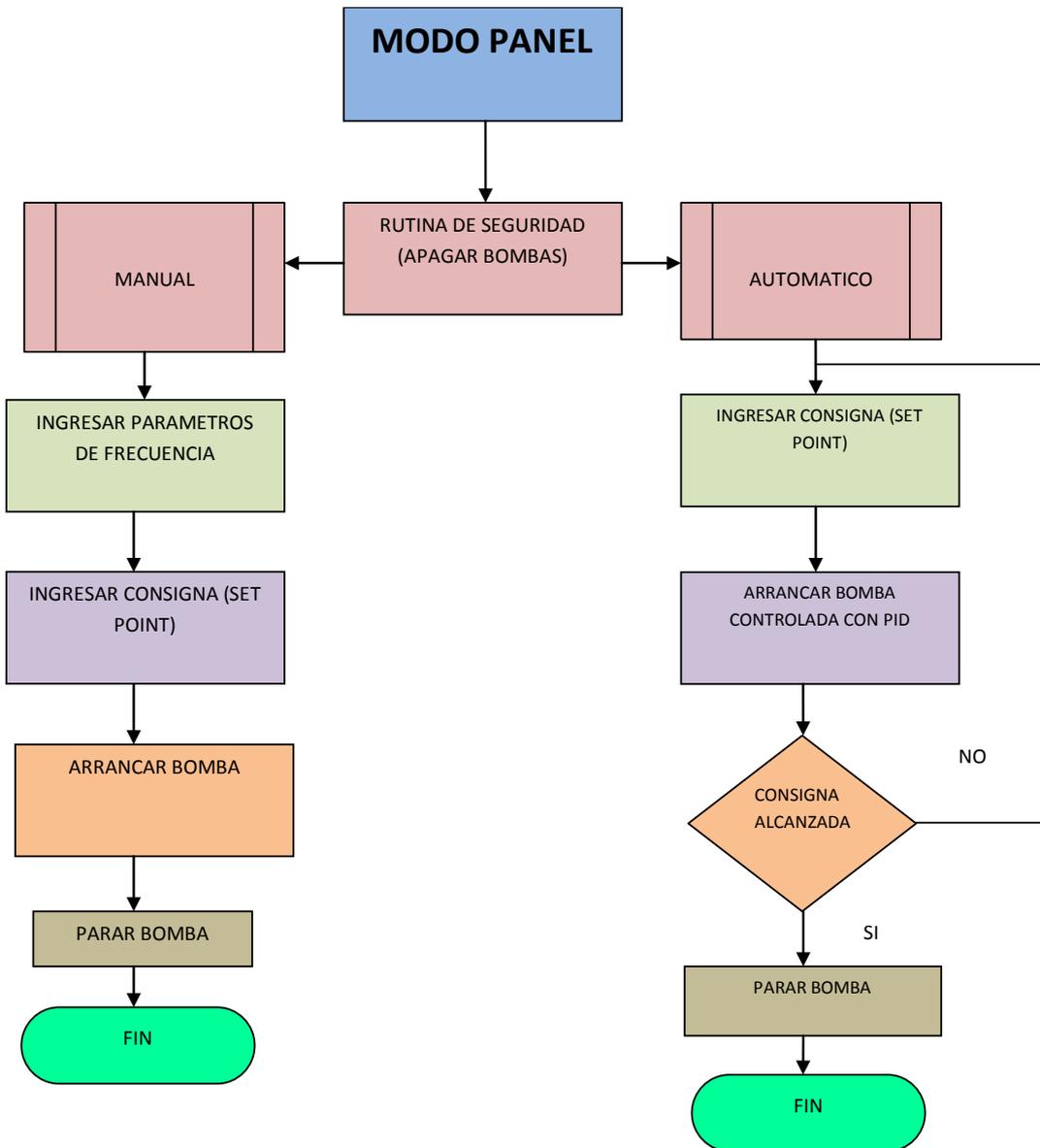


Figura # 4. 8: Secuencia general del algoritmo de control
 Fuente: Fuente: Héctor Galvis y Humberto Zeas

4.5.22. Rutina para el control del modo automático

En lenguaje estructurado la rutina para la operación en modo automático se describe así:

Modo automático

Rutina de lectura de datos del HMI

Si el selector Rampa/Automático esta activado

Habilitar la rutina de escritura en el HMI Ingresar dato del set point

Rutina de escritura de datos

Cargar dato del set point desde HMI

Frecuencia mínima de operación bomba = 15 Hz

Frecuencia máxima de la bomba = 60 Hz

Arranque Bomba

- Arrancar Modo automático
- Habilitar la lectura del transmisor de flujo
- Habilitar el PID para el control de la bomba.

Parada de la bomba

- Detener el MODO AUTOMÁTICO
- Dar la orden de parada de la bomba
- Deshabilitar el PID

4.6. RUTINA PARA DEL TRANSMISOR DE FLUJO

El transmisor de flujo Sitrans maneja una señal de 4 a 20 mA. Esta señal ingresa a la entrada analógica del PLC. Para relacionar la medida de flujo obtenida en función de los 4 a 20 mA que maneja el PLC se implementa una función "FC" para el escalamiento de señal denominado "Scale_corrente_input".

La función "Scale_corrente_input" lo único que ejecuta es un ajuste de la pendiente de la señal de entrada. A continuación se describe brevemente el concepto teórico para el escalamiento de la señal de salida del transmisor de flujo.

4.7. ESCALAMIENTO DE LA SEÑAL DEL TRANSMISOR

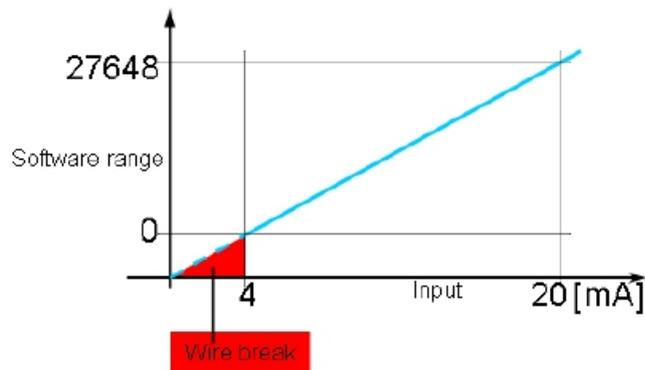


Figura # 4. 9: Escalamiento señal transmisor de flujo
Fuente: Fuente: Héctor Galvis y Humberto Zeas

En el PLC, el rango de 0 a 20 mA corresponde a un rango de la señal interna de 0 a 27648. Para adaptar el rango de 4 a 20 mA proveniente del transmisor de flujo, relacionándolo en 0 a 4 mA y terminando en 27648 para 20 mA, se trabajó con las ecuaciones de las rectas que se tienen de 0 a 20 mA y de 4mA a 20 mA.

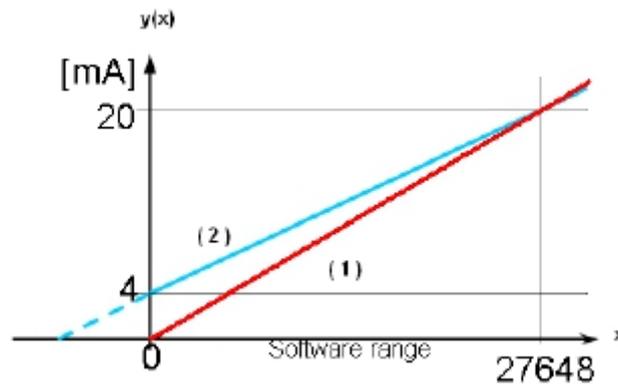


Figura # 4. 10: Escalamiento de la señal de 4 a 20ma
Fuente: Fuente: Héctor Galvis y Humberto Zeas

La recta (1), en color rojo, de 0 a 20 mA se obtiene con un rango de 0-27648.
En base a la ecuación de la recta, que de modo general se expresa:

$$y(x) = mx + b$$

Se tiene que para la recta (1) su ecuación es:

$$y_1 = \frac{20ma}{27648}x$$

$$x = \frac{27648y_1}{20ma}$$

La recta (2), en color azul, de 4 a 20 mA se obtiene con el mismo rango de la recta (1), de 0-27648.

La ecuación para la recta (2) es:

$$y_2 = \frac{16ma}{27648}x + 4ma$$

Reemplazando la ecuación y se tiene:

$$y_1 = \frac{y_2 - 4ma}{0,8}$$

Ahora se obtiene x en función de y2:

$$x = \frac{27648\left(\frac{y_2 - 4ma}{0,8}\right)}{20ma}$$

Donde x es el valor entre 0-27648 correspondiente a la señal de 4 a 20 mA enviada por el transmisor de flujo. Cabe indicar que 4ma corresponde a 0 m³/h, mientras que 20 mA representa a 20 m³/h.

4.8. DESARROLLO DEL PROGRAMA PARA IMPLEMENTACIÓN DEL HMI EN LA PANTALLA TÁCTIL.

Para la implementación y el diseño de la HMI, se utiliza el software SIMANTEC Wincc flexible de SIEMENS; este software, está integrado junto con el software SIMANTEC STEP 7 (programación PLC's).

Para la implementación del HMI en la pantalla táctil, primero se debe configurar el hardware disponible; a continuación se describe la forma en la que se configura la pantalla táctil OP1777.



Figura # 4.11: Pantalla táctil
Fuente: Fuente: Héctor Galvis y Humberto Zeas

4.8.1. Configuración del hardware de la HMI

Para iniciar la configuración del hardware, en la aplicación WinCC Flexible se necesita agregar el hardware disponible.

Para agregar el hardware, en el submenú “árbol” se da clic sobre la opción insertar nuevo equipo; luego, se despliega una pantalla y se selecciona la opción denominada HMI.

Dentro de esta opción se selecciona el submenú “SIMATIC Basic Panel” y después el modelo de la pantalla que, para el caso presente, es la “OP 177B”.

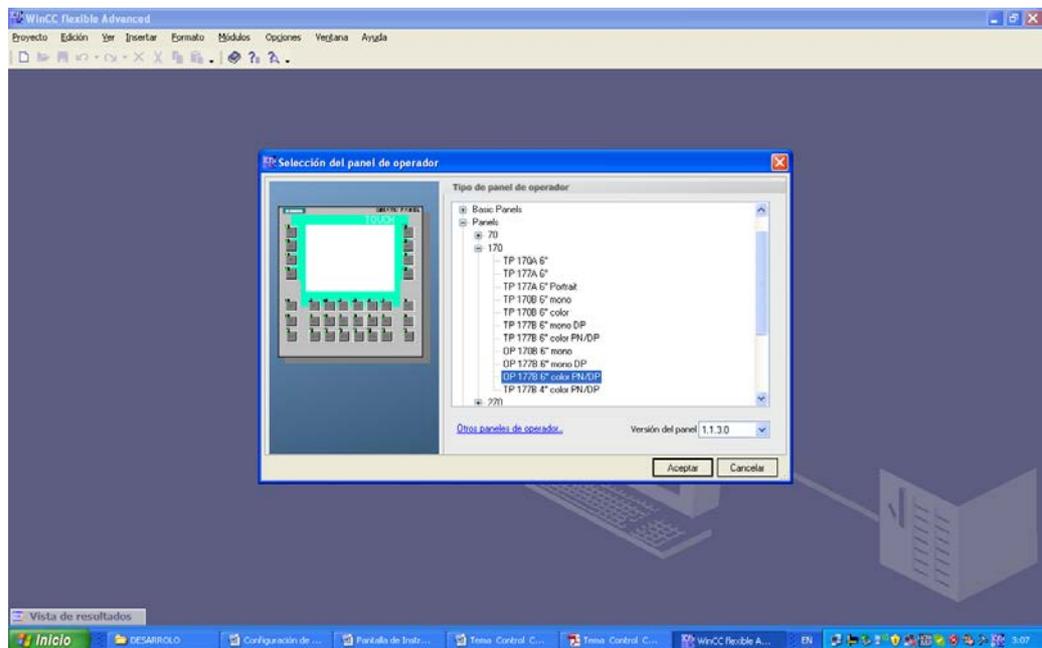


Figura # 4. 12: Eligiendo Hardware del HMI disponible

Fuente: Fuente: Héctor Galvis y Humberto Zeas

Ya seleccionado el modelo de pantalla, se abre automáticamente el “Asistente del panel del operador, la primera ventana en aparecer es para la configuración de la conexión con el PLC. En esta ventana, se selecciona el PLC con el cual se va conectar la pantalla. Para ello se da clic en “Seleccionar” y se pincha en el PLC que se había configurado anteriormente.

Toda la configuración de la conexión entre el panel de operador (pantalla táctil) y el PLC son mostrados en la figura 4.13

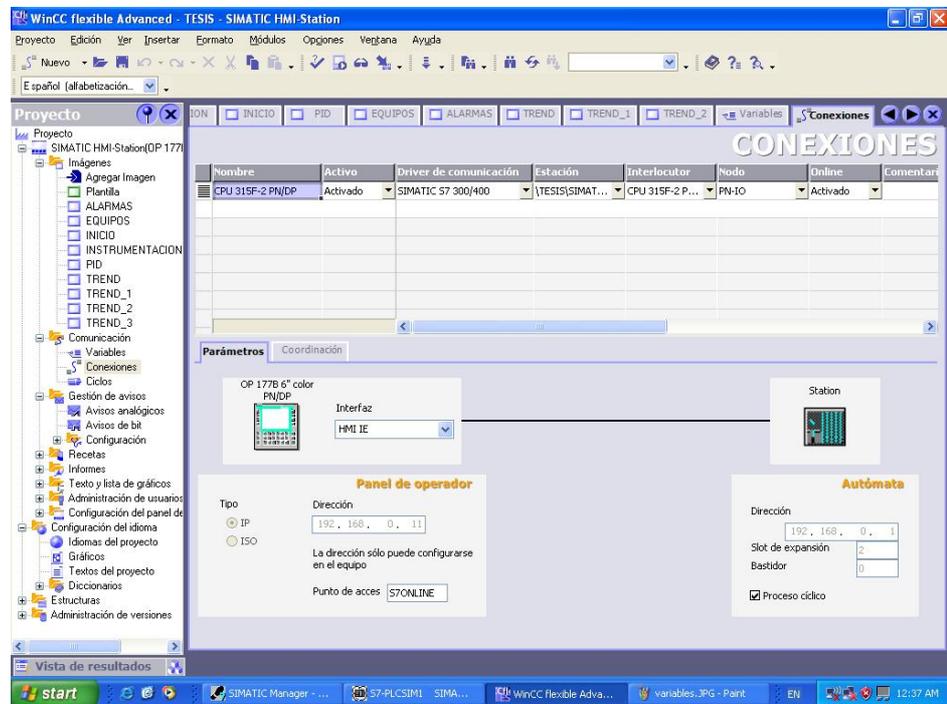


Figura # 4. 13: Configuración de la conexión entre el PLC y el panel de operador
Fuente: Fuente: Héctor Galvis y Humberto Zeas

4.8.2. Diseño de una pantalla del HMI en la pantalla táctil

Para acceder a la utilidad para el diseño de la pantalla nuevamente se utiliza el software.

A continuación se describe, el diseño de la pantalla denominada "Modo Automático" de la HMI implementada en el panel de operador (Pantalla Táctil).

El primer paso en el diseño de la pantalla, es crear un Área de trabajo, para esto se tiene que generar una nueva imagen a la que se le denomina "Pantalla de Diseño".

Para crear la pantalla de diseño, se da un clic sobre la opción "Agregar imagen".

La imagen agregada aparece en el árbol del proyecto tal como se puede observar en la siguiente figura 4.14

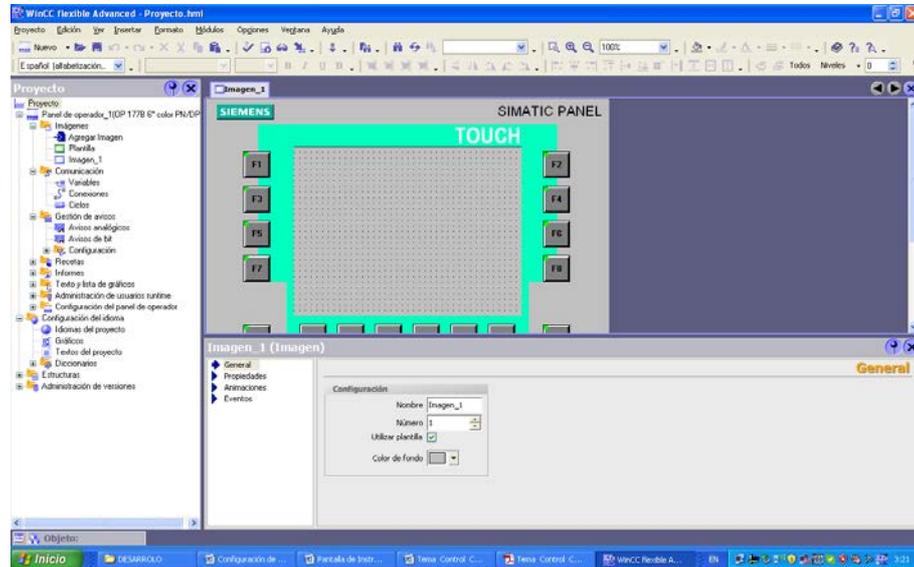


Figura # 4.14: Pantalla HMI
Fuente: Héctor Galvis y Humberto Zeas

A continuación en la figura 4.15 se muestra una mímica de desarrollo de la pantalla de equipos de instrumentación

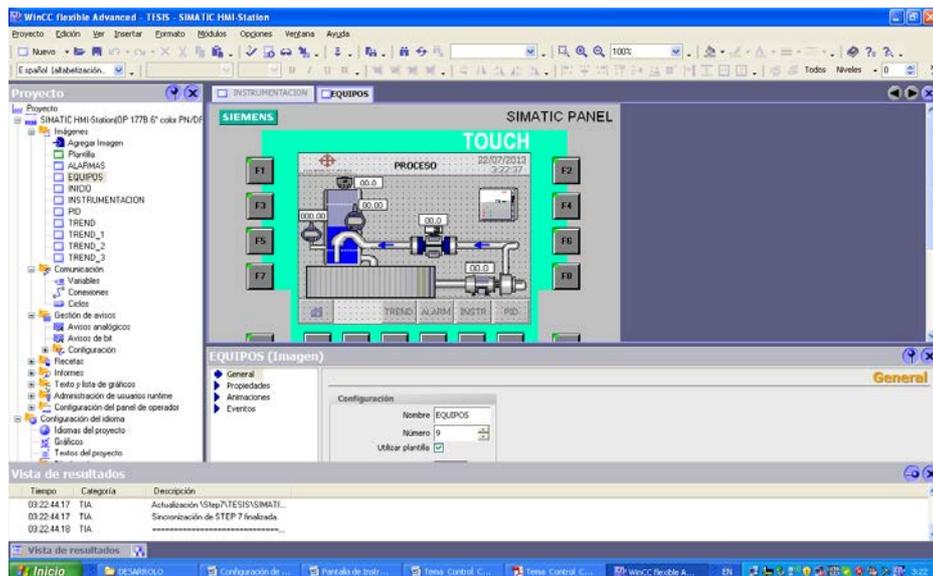


Figura # 4.15: Pantalla HMI
Fuente: Héctor Galvis y Humberto Zeas

4.9. PRUEBAS DE LA INSTRUMENTACION Y DEL PROCESO

Las pruebas se realizan con el objetivo de comprobar la configuración y ajustar la medición de los diferentes sensores del banco de pruebas, además se verificara el escalamiento de los bloques que corresponden a las entradas analógicas del PLC S7 300, esto se logra midiendo y comprobando la linealidad de las señales de control que son de 0-20 mA y de 4-20 mA.

Para lograr este objetivo se cuenta con un instrumento de la gama de calibradores de proceso FLUKE 754 que es un instrumento que calibra temperatura, presión, tensión, intensidad, resistencia y frecuencia, dado que realiza tanto medidas como generaciones, facilita la solución de problemas y de calibración. La característica principal es de poder trabajarlo en el modo SOURCE mA el cual entrega una fuente de corriente muy precisa que permite inyectar a los sensores y a los módulos analógicos una corriente de un rango muy variable como la de 4-20 mA y hacer una comparación directa de la medida de la variable del sensor, es decir que en el instrumento se configura para poder ver simultáneamente las lecturas de la señal inyectada de 4-20 mA y el valor correspondiente de la variable y comprobar su relación con la señal de corriente y la lectura de la variable del sensor o del proceso que debe corresponder con lo que indica el instrumento FLUKE 754.

4.10. PRUEBA MANUAL DEL VARIADOR DE FRECUENCIA

Esta prueba se la realiza utilizando un calibrador de procesos *Fluke 754* en modo MEASURE mA para comprobar la corriente de 0-20 mA proveniente del módulo analógico de salida 334 y que se inyecta directamente a los terminales 3 y 4 del variador de frecuencia Micromaster 440.

En la figura 4.16 se puede ver en el panel la frecuencia de salida de 40Hz.



Figura # 4. 16: Panel de Frecuencia de 40hz
Fuente: Héctor Galvis y Humberto Zeas

La Figura 4.17 muestra el panel del variador con la salida de frecuencia de 39.59 Hz hacia el motor.



Figura # 4. 17: Panel del Variador con salida de frecuencia de 39.59hz
Fuente: Héctor Galvis y Humberto Zeas

La Figura 4.18 muestra el módulo de función FC5 con una entrada de datos de 000005.78704 y la pantalla del WinnCC donde se puede ver la tendencia del flujo de 5.8 M3/h en relación con la frecuencia de 40 Hz del motor y la bomba.

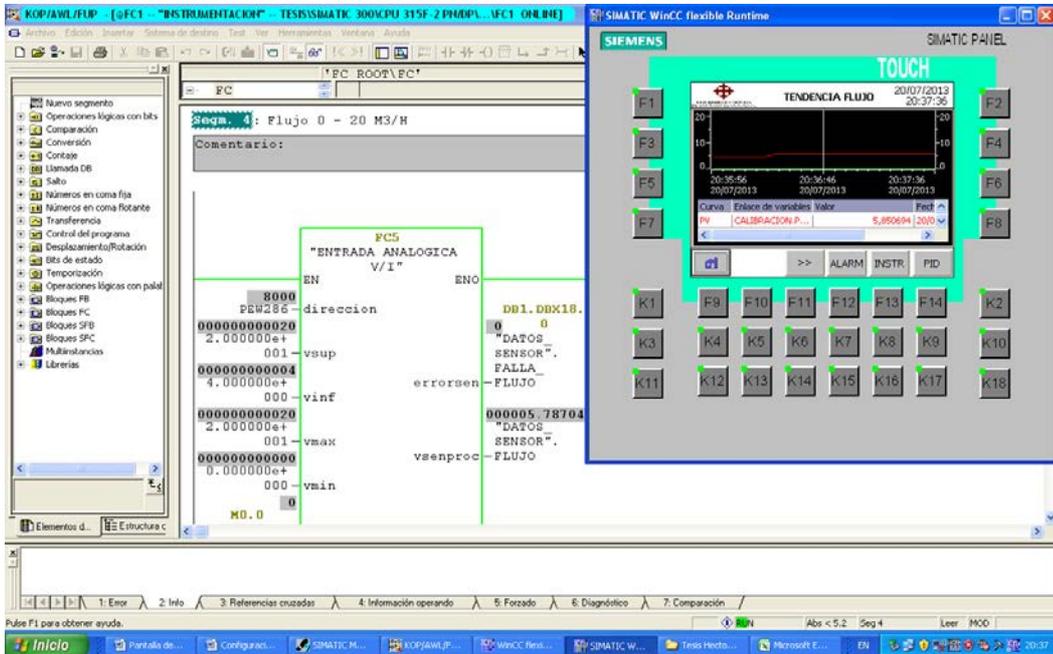


Figura # 4. 18: Módulo de funciones FC5 con tendencia de flujo de 5.8M3/h
Fuente: Héctor Galvis y Humberto Zeas

La Figura 4.19 muestra la frecuencia de 50Hz en el panel.



Figura # 4. 19: Panel de frecuencia
Fuente: Héctor Galvis y Humberto Zeas

La figura 4.20 muestra el panel del variador con una salida de frecuencia de 49.69 Hz hacia el motor



Figura # 4. 20: Panel del Variador
Fuente: Héctor Galvis y Humberto Zeas

La figura 4.21 muestra el módulo de función FC5 con una entrada de datos de 000007.48843 y la pantalla del WinnCC donde se puede ver la tendencia del flujo de 7.5 m3/h en relación con la frecuencia de 50 Hz del motor y la bomba.

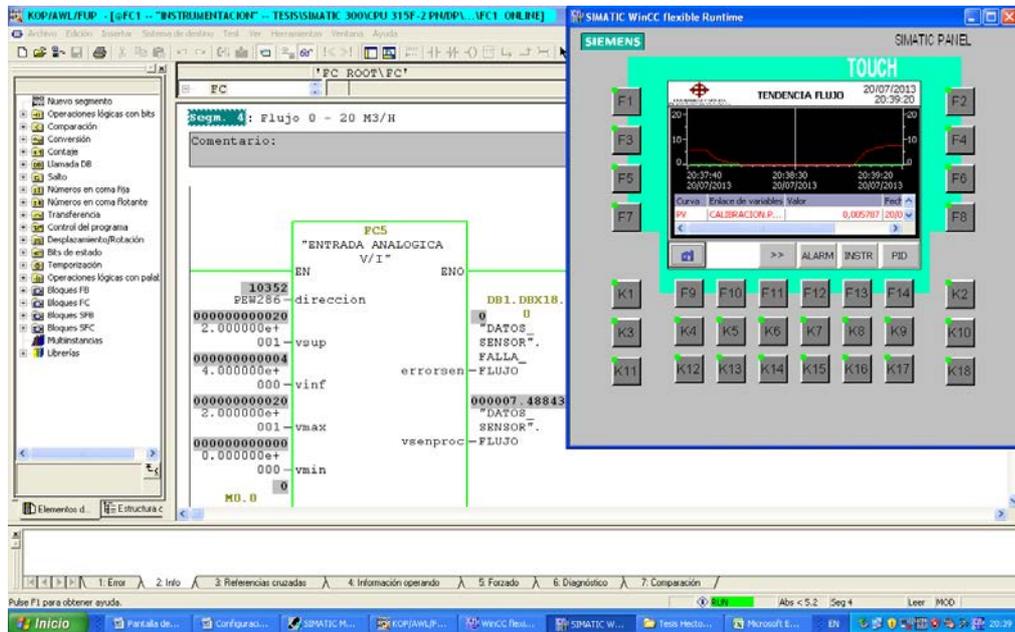


Figura # 4. 21: Módulos de funciones FC5 con tendencia de flujo de 7.5M3/h
Fuente: Héctor Galvis y Humberto Zeas

La figura 4.22 muestra el panel con la frecuencia de 60 Hz.



Figura # 4. 22: Panel de Frecuencia de 60hz
Fuente: Héctor Galvis y Humberto Zeas

La figura 4.23 muestra el panel del variador con la Frecuencia de 59.88 Hz



Figura # 4. 23: Panel del Variador con salida de frecuencia de 59.88hz
Fuente: Héctor Galvis y Humberto Zeas

La figura 4.24 muestra el módulo de función FC5 con una entrada de datos de 000008.91782 y la pantalla del WinnCC donde se puede ver la tendencia del flujo de 8.9 m3/h

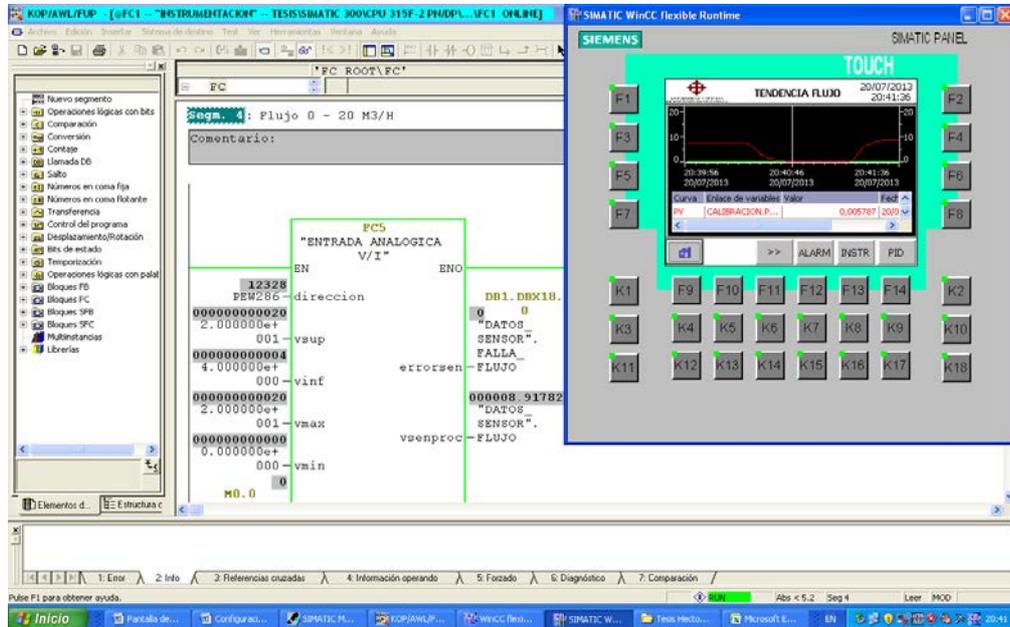


Figura # 4. 24: Módulo de funciones FC5 con tendencia de flujo de 8.9M3/h
Fuente: Héctor Galvis y Humberto Zeas

La figura 4.25 muestra el instrumento Fluke 756 midiendo la señal de corriente de 0-20 ma y transformadas a unidades de frecuencia 60 Hz.



Figura # 4. 25: Medición de la señal de corriente con el fluke 756
Fuente: Héctor Galvis y Humberto Zeas

La tabla 4.1 muestra las diferentes mediciones realizadas en comparación con la frecuencia del variador

| # PRUEBA | FRECUENCIA (HZ) | CAUDAL (m3/h) | CORRIENTE DE CONTROL (ma) | VOLTAJE DEL VARIADOR |
|----------|-----------------|---------------|---------------------------|----------------------|
| 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 2 | 10 | 0 | 3,33 | 81 |
| 3 | 20 | 2,84 | 6,66 | 121 |
| 4 | 30 | 4,5 | 10 | 153 |
| 5 | 40 | 6 | 13,33 | 179 |
| 6 | 50 | 7,5 | 16,66 | 200 |
| 7 | 60 | 9,06 | 20 | 232 |

Tabla # 4. 1: Tabla de mediciones comparando la frecuencia del variador
Fuente: Héctor Galvis y Humberto Zeas

La figura 4.26 muestra la respuesta del variador en frecuencia de salida en función de la señal de corriente de 0-20 mA

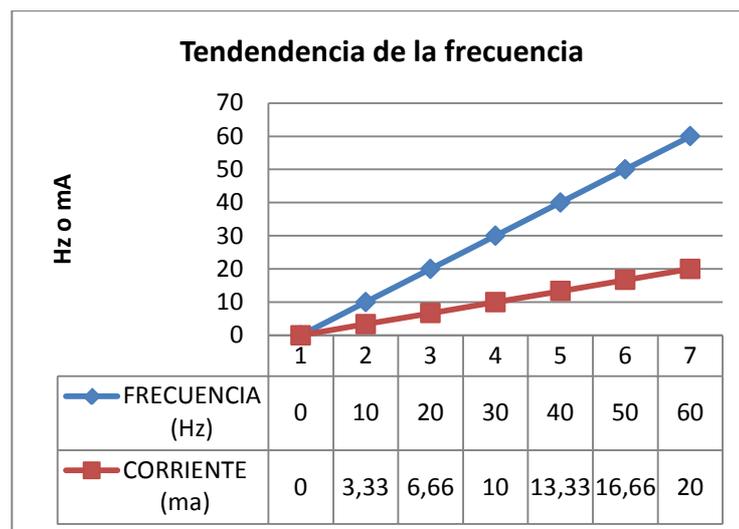


Figura # 4. 26: Respuesta del variador en frecuencia de salida
Fuente: Héctor Galvis y Humberto Zeas

4.11. PRUEBAS DEL TRANSMISOR DE TEMPERATURA

Estas pruebas se realizaron para comprobar la calibración del transmisor de temperatura SITRANS TF2 configurado a una entrada de corriente es de 4-20 ma y un rango de medida de 0-100 °C, se comprueba la linealidad de la medida de la variable con respecto a la señal de entrada, también se comprueba el escalamiento del bloque de función CS 5, con el calibrador de procesos Fluke 754 en modo SOURCE Ma permite inyectar una corriente de 4-20 ma que simula la una medición de temperatura en función de la corriente, se hizo también la comparación con las lecturas en la pantalla del SIMATIC PANEL.

En la siguiente figura 4.27, en el panel se muestra la lectura de la temperatura 25 C



Figura # 4. 27: Panel de lectura de la temperatura
Fuente: Héctor Galvis y Humberto Zeas

En la figura 4.28 se muestra en el instrumento una lectura de la señal de corriente de 8 mA que equivale a 25 C.



Figura # 4. 28: Lectura de la temperatura con el Fluke 756
Fuente: Héctor Galvis y Humberto Zeas

La Figura 4.29 muestra en la pantalla del step 7 el bloque de función FC5 donde se puede apreciar en la entrada de datos el valor de 000025.0868 que corresponde a una temperatura de 25 C que viene del calibrador fluke que simula una temperatura.

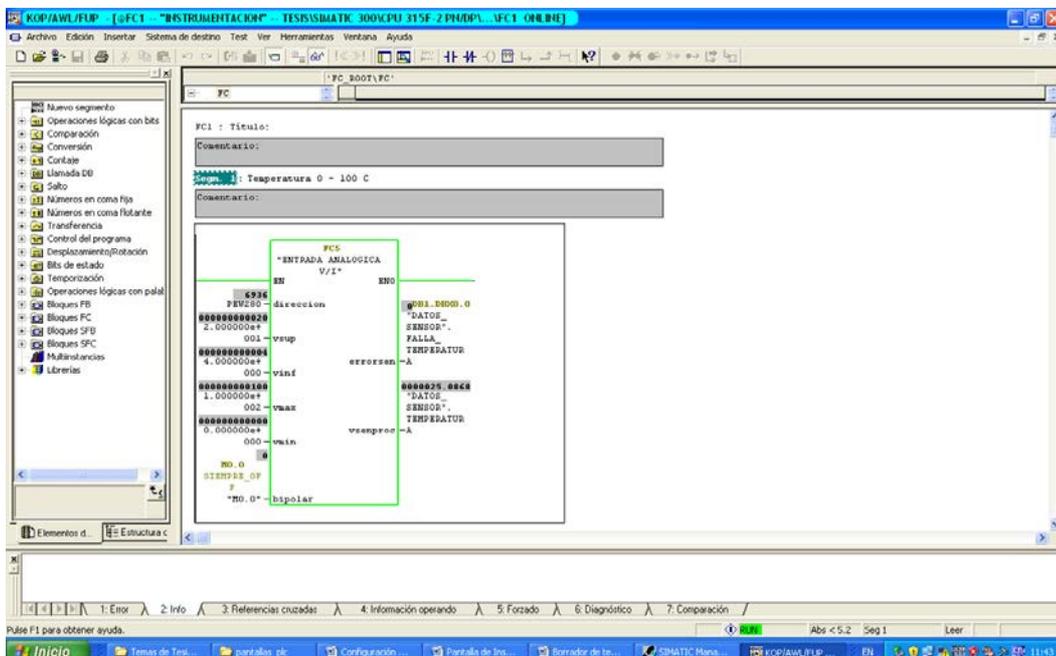


Figura # 4. 29: Módulo de funciones FC5 midiendo la entrada de datos de temperatura
Fuente: Héctor Galvis y Humberto Zeas

La figura 4.30 muestra en el panel la lectura de la temperatura 50 C

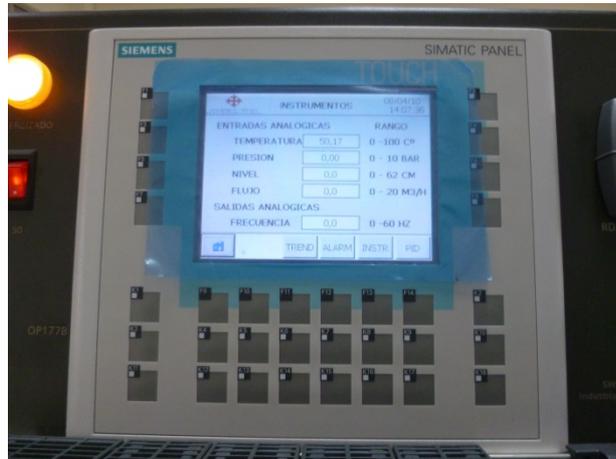


Figura # 4. 30: Lectura de Temperatura 50c
Fuente: Héctor Galvis y Humberto Zeas

La figura 4.31 muestra en el instrumento una lectura de de la señal de corriente de 12 mA que equivale a 50 C.

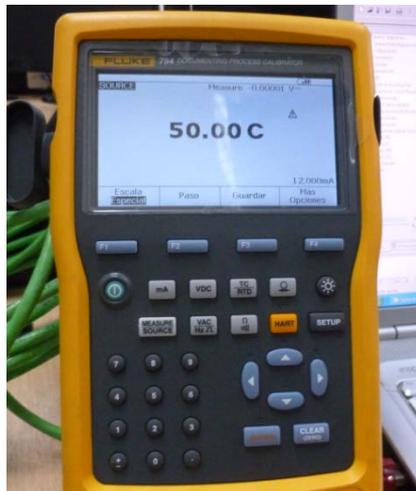


Figura # 4. 31: Lectura de la temperatura de 50c con el fluke 756
Fuente: Héctor Galvis y Humberto Zeas

Figura 4.32 muestra en la pantalla del step 7 el bloque de función FC5 donde se puede apreciar en la entrada de datos el valor de 000050.1736 que corresponde a una temperatura de 50 C que viene del calibrador fluke.

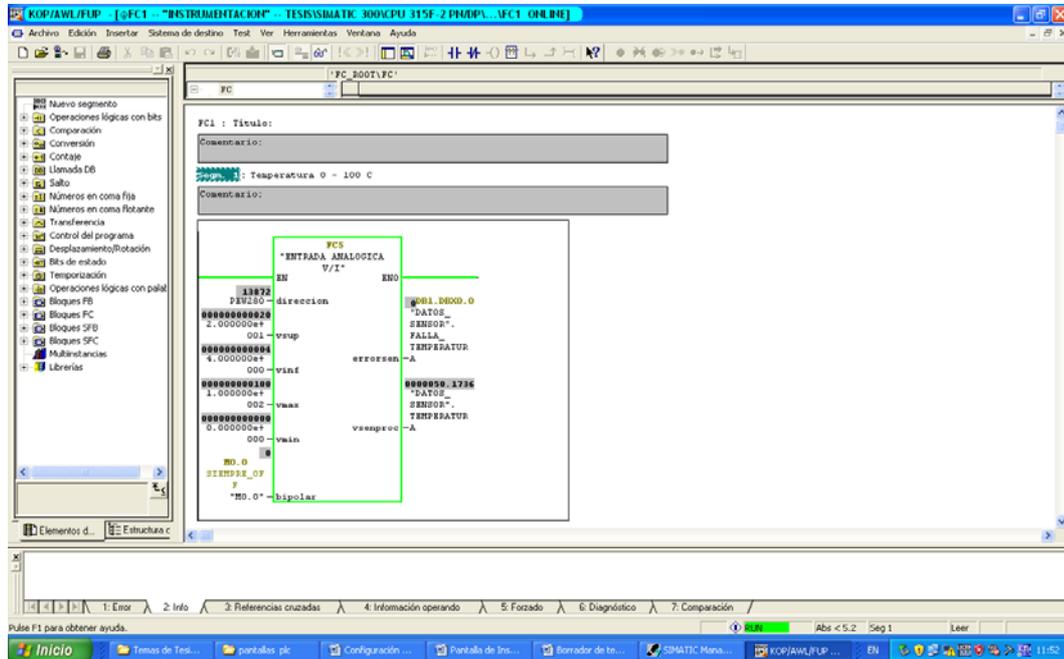


Figura # 4. 32: Módulo de funciones FC5 midiendo la entrada de datos de temperatura de 50C
Fuente: Héctor Galvis y Humberto Zeas

La figura 4.33 muestra en el panel la lectura de la temperatura de 75 C



Figura # 4. 33: Lectura de Temperatura 75c
Fuente: Héctor Galvis y Humberto Zeas

Figura 4.34 muestra en el instrumento una lectura de la señal de corriente de 16 ma que equivale a 75 C.



Figura # 4. 34: Lectura de la temperatura de 75c con el fluke 756
Fuente: Héctor Galvis y Humberto Zeas

La Figura 4.35 muestra en la pantalla del step 7 el bloque de funcion FC5 donde se puede apreciar en la entrada de datos el valor de 000075.2025 que corresponde a una temperatura de 75 C que viene del instrumento fluke.

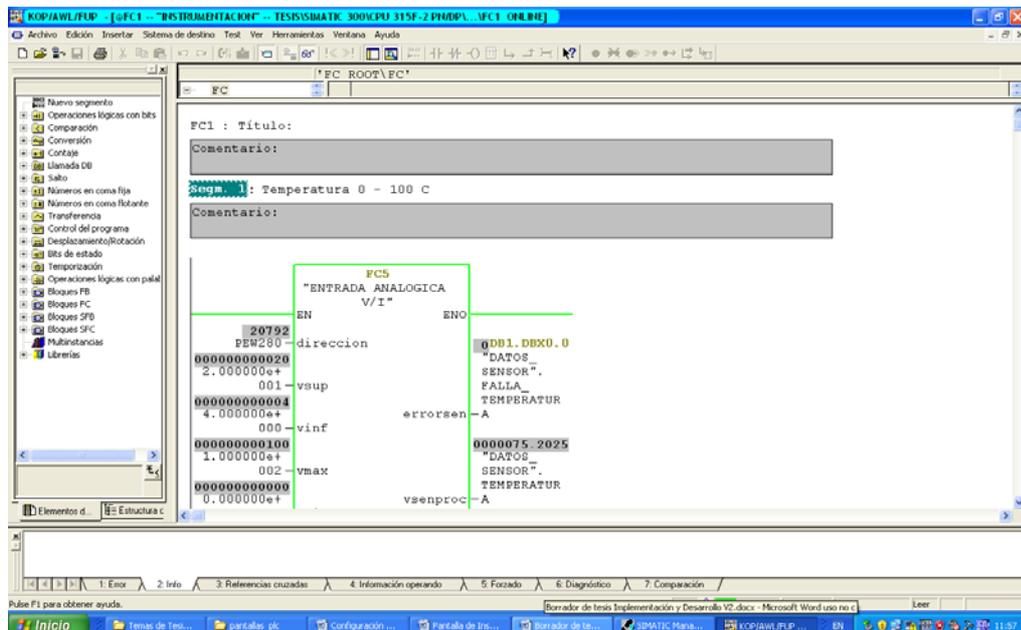


Figura # 4. 35: Módulo de funciones FC5 midiendo la entrada de datos de temperatura de 75C
Fuente: Héctor Galvis y Humberto Zeas

La tabla 4.2 muestra las diferentes mediciones realizadas comparando la entrada de señal del transmisor de temperatura de 4-20 ma con la indicación de la temperatura de 0-100 C

| # PRUEBA | CORRIENTE DE CONTROL (mA) | TEMPERATURA (C) |
|----------|---------------------------|-----------------|
| 1 | 4 | 0 |
| 2 | 8 | 25 |
| 3 | 12 | 50 |
| 4 | 16 | 75 |
| 5 | 20 | 100 |

Tabla # 4. 2: Tabla de mediciones comparando el transmisor de temperatura.
Fuente: Héctor Galvis y Humberto Zeas

Figura 4.36 muestra la tendencia de la temperatura del transmisor en función de la señal de corriente de 4-20 mA

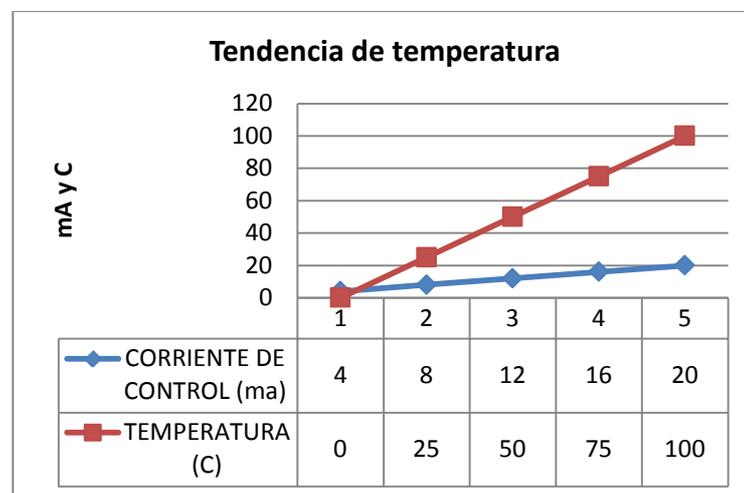


Figura # 4. 36: Respuesta del transmisor de temperatura en función de la corriente.
Fuente: Héctor Galvis y Humberto Zeas

4.12. PRUEBAS DEL TRANSMISOR DE PRESION

Estas pruebas se realizaron para comprobar la calibración del transmisor de presión SITRANS P SERIES ZD configurado a una entrada de corriente es de 4-20 ma con un rango de medida de 0-10 BAR, se comprueba la linealidad de la señal con la medición de la variable, también se comprueba el escalamiento del bloque de función CS 5, con el calibrador de procesos Fluke 754 en modo SOURCE Ma, permite inyectar una corriente de 4-20 ma que simula la una medición de presión en función de la corriente, se hizo también la comparación con las lecturas en la pantalla del SIMATIC PANEL. La figura 4.37 muestra en el panel la lectura de la presión de 2.5 BAR.



Figura # 4. 37: Panel de lectura de la presión de 2.5 BAR
Fuente: Héctor Galvis y Humberto Zeas

La figura 4.38 muestra en el instrumento una lectura de la señal de corriente de 8 ma que equivale a 2.5 BAR



Figura # 4. 38: Medición de la presión de 2.5 BAR con el fluke 756
Fuente: Héctor Galvis y Humberto Zeas

La figura 4.39 muestra en la pantalla del step 7 el bloque de función FC5 donde se puede apreciar en la entrada de datos el valor de 00002.5025 que equivale a 2.5 BAR que es generada por el instrumento fluke.

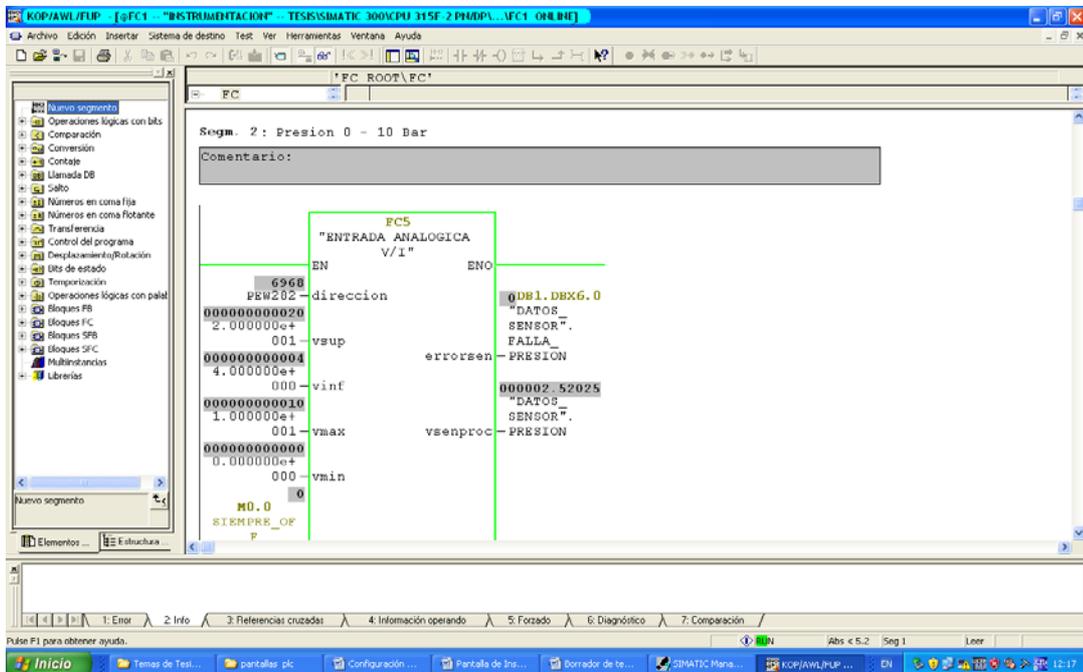


Figura # 4.39: Módulo FC5 midiendo la entrada de datos de la presión de 2.5 BAR
Fuente: Héctor Galvis y Humberto Zeas

La figura 4.40 se muestra la lectura de la presión de 5.03 BAR



Figura # 4.40: Panel de lectura de la presión de 5.03 BAR
Fuente: Héctor Galvis y Humberto Zeas

Figura 4.41 muestra en el instrumento una lectura de la señal de corriente de 12 mA que equivale a 5 BAR.



Figura # 4. 41: Medición de la presión de 5 BAR con el fluke 756
Fuente: Héctor Galvis y Humberto Zeas

La figura 4.42 muestra en la pantalla del step 7 el bloque de función FC5 donde se puede apreciar en la entrada de datos el valor de 00005.03183 que equivale a una medida de 5 BAR generada por el instrumento fluke.

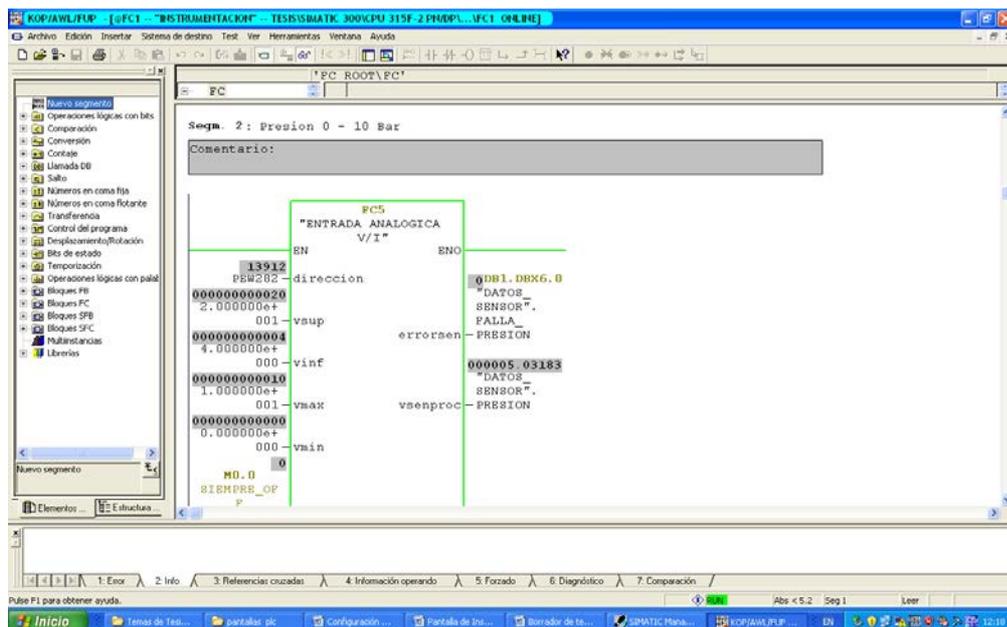


Figura # 4. 42: Módulo FC5 midiendo la entrada de datos de la presión de 5 BAR
Fuente: Héctor Galvis y Humberto Zeas

Figura 4.43 muestra en el panel la lectura de la presión de 10 BAR



Figura # 4. 43: Panel de lectura de la presión de 10 BAR
Fuente: Héctor Galvis y Humberto Zeas

La figura 4.44 muestra en el instrumento una lectura de la señal de corriente de 20 ma que equivale a 10 BAR



Figura # 4. 44: Medición de la presión de 10 BAR con el fluke 756
Fuente: Héctor Galvis y Humberto Zeas

La figura 4.45 muestra en la pantalla del step 7 el bloque de función FC5 donde se puede apreciar en la entrada de datos el valor de 0000000010 que equivale a una medida de 10 BAR simulada con el instrumento fluke.

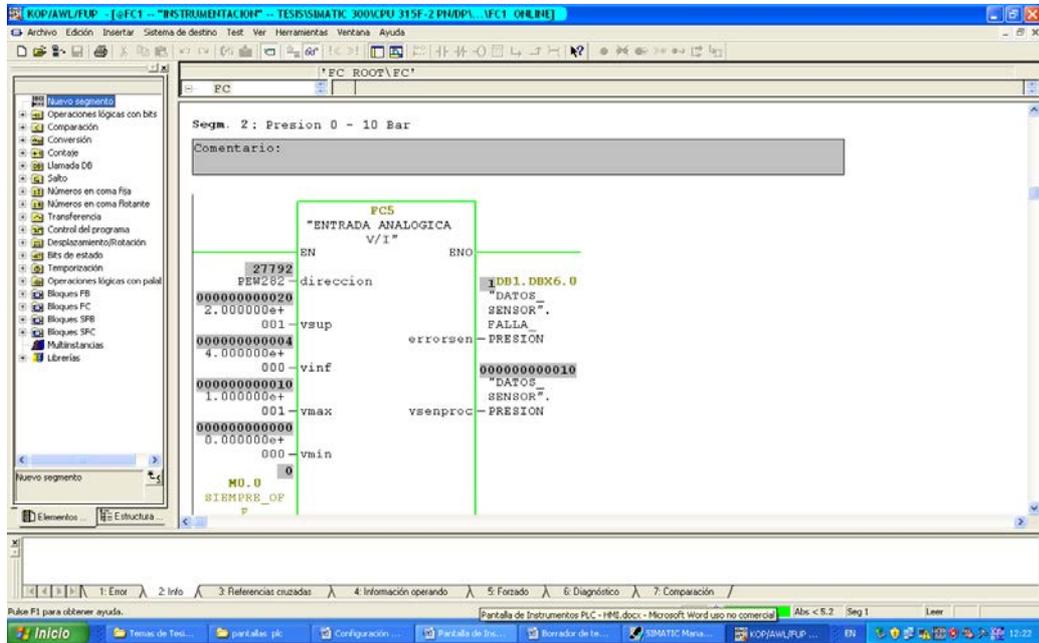


Figura # 4. 45: Módulo FC5 midiendo la entrada de datos de la presión de 10 BAR
Fuente: Héctor Galvis y Humberto Zeas

La tabla 4.3 muestra las diferentes mediciones realizadas comparando la entrada de señal del transmisor de presión de 4-20 ma con la indicación de la presión de 0-10 BA

| # PRUEBA | CORRIENTE DE CONTROL (ma) | PRESION (BAR) |
|----------|---------------------------|---------------|
| 1 | 4 | 0 |
| 2 | 8 | 2.5 |
| 3 | 12 | 5.0 |
| 4 | 16 | 7.5 |
| 5 | 20 | 10.0 |

Tabla # 4. 3: Tabla de mediciones comparando el transmisor de presión.
Fuente: Héctor Galvis y Humberto Zeas

La figura 4.46 muestra la tendencia de presión del transmisor en función de la señal de corriente de 4-20 mA.

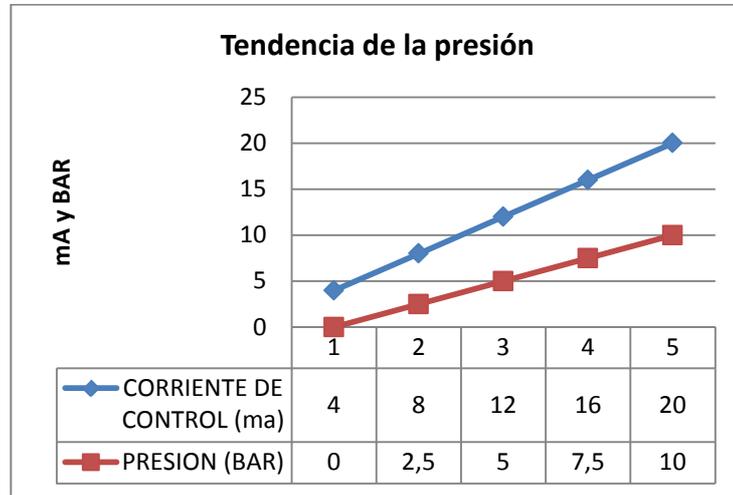


Figura # 4. 46: Respuesta del transmisor de temperatura en función de la corriente.
Fuente: Héctor Galvis y Humberto Zeas

4.13. PRUEBAS DEL TRANSMISOR DE NIVEL

Estas pruebas se realizaron para comprobar la calibración del transmisor de Nivel SITRANS PROBE LU que está configurado a una entrada de corriente es de 4-20 ma con un rango de 0-62 cm, se comprueba la linealidad con relación a la medida de la variable, también se comprueba el escalamiento del bloque de función CS 5, con el calibrador de procesos Fluke 754 en modo SOURCE Ma, que permite inyectar una corriente de 4-20 ma que simula la una medición de nivel en función de la corriente, se hizo también la comparación con las lecturas en la pantalla del SIMATIC PANEL.

En la figura 4.47 se muestra la lectura del nivel de 15cm



Figura # 4. 47: Panel de lectura de nivel de 15cm
Fuente: Héctor Galvis y Humberto Zeas

La figura 4.48 muestra en el instrumento una lectura de la señal de corriente de 7.871 ma que equivale a un nivel de 15 cm.



Figura # 4. 48: Medición de nivel de 15cm con el fluke 756
Fuente: Héctor Galvis y Humberto Zeas

Figura 4.49 muestra en la pantalla del step 7 el bloque de funcion FC5 donde se puede apreciar en la entrada de datos el valor de 0000015.0515 que equivale a una medida de nivel de 15 cm simulada por el instrumento fluke, ademas en la pantalla del WinCC se puede apreciar el valor del flujo 15.1 cm.

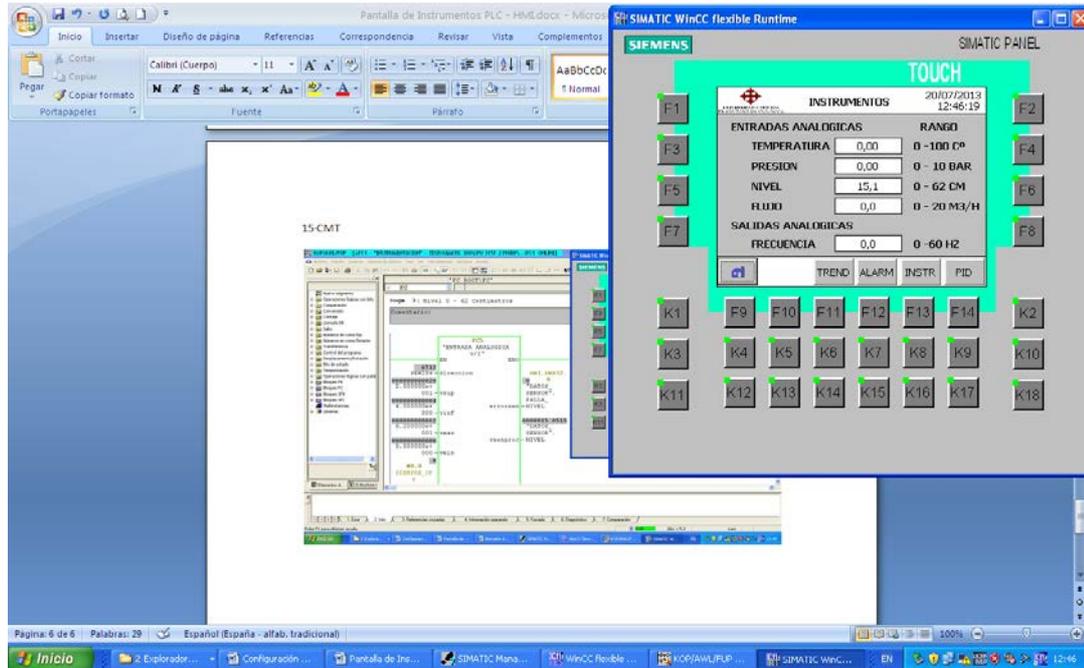


Figura # 4. 49: Módulo FC5 midiendo la entrada de datos de nivel de 15.1 cm
Fuente: Héctor Galvis y Humberto Zeas

Figura 4.50 en el panel se muestra la lectura del nivel de 30 cm



Figura # 4. 50: Panel de lectura de nivel de 15cm
Fuente: Héctor Galvis y Humberto Zeas

La figura 5.51 muestra en el instrumento una lectura de la señal de corriente de 11.742 ma que equivale a 30 cm.



Figura # 4. 51: Medición de nivel de 30cm con el fluke 756
Fuente: Héctor Galvis y Humberto Zeas

Figura 4.52 muestra en la pantalla del step 7 el bloque de función FC5 donde se puede apreciar en la entrada de datos el valor de 0000030.0492 que equivale a una medida de nivel de 30 cm simulada por el instrumento fluke, además en la pantalla del WinCC se puede apreciar la medida del nivel de 30.0 cm.

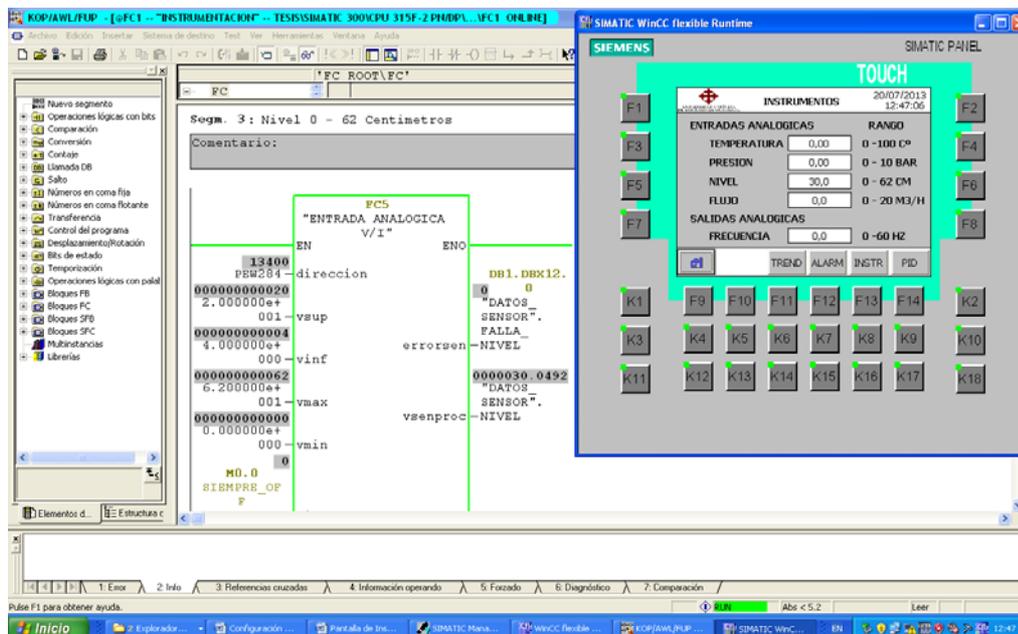


Figura # 4. 52: Módulo FC5 midiendo la entrada de datos de nivel de 30 cm
Fuente: Héctor Galvis y Humberto Zeas

La figura 4.53 muestra en la pantalla del step 7 el bloque de función FC5 donde se puede apreciar en la entrada de datos el valor de 0000060.0804 que equivale a una medida de nivel de 60 cm simulada por el instrumento fluque, además en la pantalla del WinCC se puede apreciar la tendencia del nivel que se probó en cuatro puntos 15, 30, 45 y 60 cm.

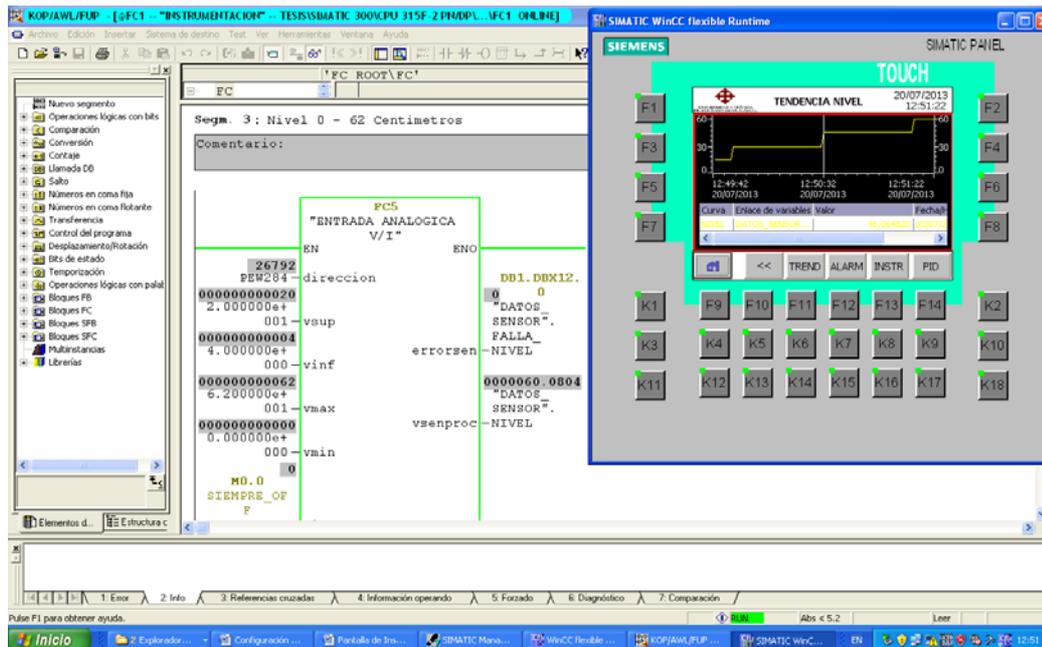


Figura # 4. 53: Módulo FC5 midiendo la entrada de datos de nivel de 60 cm
Fuente: Héctor Galvis y Humberto Zeas

La tabla muestra las diferentes mediciones realizadas comprobando la entrada de señal del transmisor de nivel de 4-20 ma con un rango de nivel de 0-62 cm.

| # PRUEBA | CORRIENTE DE CONTROL (ma) | NIVEL (CM) |
|----------|---------------------------|------------|
| 1 | 4 | 0 |
| 2 | 7,871 | 15 |
| 3 | 11,742 | 30 |
| 4 | 15,613 | 45 |
| 5 | 20 | 62 |

Tabla # 4. 4: Tabla de mediciones comparando el transmisor de nivel.
Fuente: Héctor Galvis y Humberto Zeas

Figura 4.54 muestra la tendencia del nivel del transmisor en función de la señal de Corriente de 4-20 mA

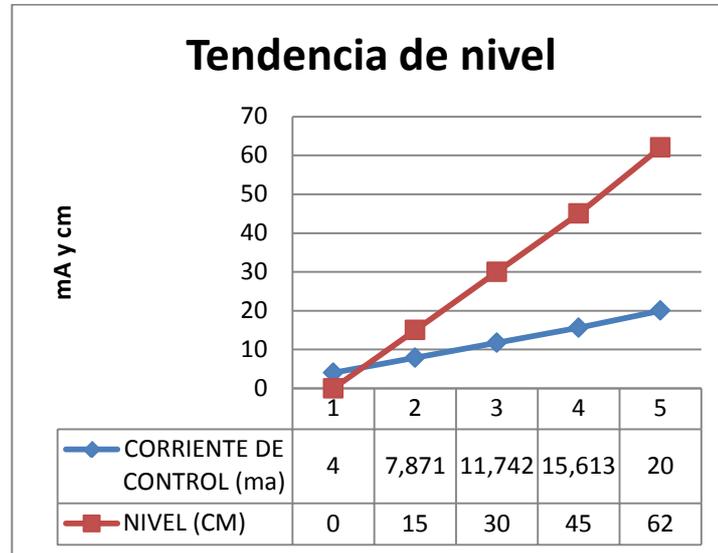


Figura # 4. 54: Respuesta del transmisor de nivel en función de la corriente.
Fuente: Héctor Galvis y Humberto Zeas

4.14. PRUEBAS DEL TRANSMISOR DE CAUDAL ELECTROMAGNETICO

Estas pruebas se realizaron para comprobar la calibración del transmisor de flujo electromagnético SITRANS FM MAG 5100 W cuya entrada de corriente está configurada a 4-20 mA con un rango de medida de 0-20 m³/h, también se comprueba el escalamiento del bloque de función CS 5, con el calibrador de procesos Fluke 754 en modo SOURCE mA que permite inyectar una corriente de 4-20 ma que simula la una medición de caudal en función de la corriente, se hizo también la comparación con las lecturas en la pantalla del SIMATIC PANEL.

La figura 4.55 muestra en la pantalla del step 7 el bloque de función FC5 donde se puede apreciar en la entrada de datos el valor de 000015.0231 que equivale a una medida de caudal de 15 m³/h simulada por el instrumento fluke, además en la pantalla del WinCC se puede apreciar el proceso con el dato de la medida de caudal de 15 m³/h.

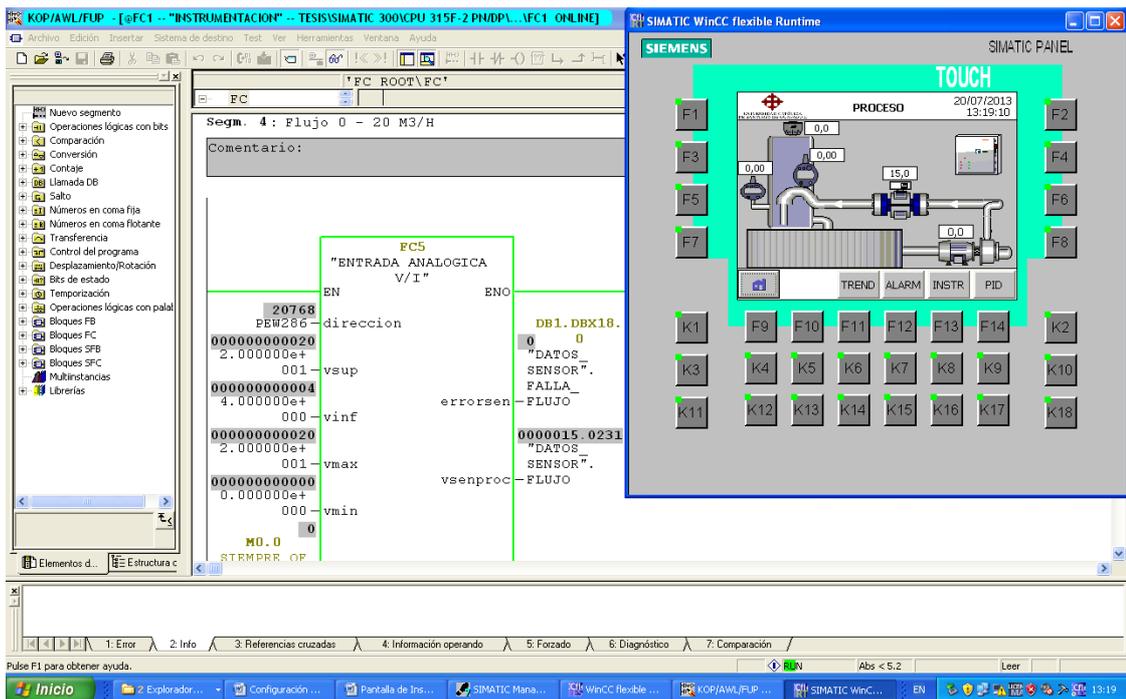


Figura # 4. 55: Módulo FC5 midiendo la entrada de datos de la medida de caudal 15 m³/h
Fuente: Héctor Galvis y Humberto Zeas

La figura 4.56 muestra en la pantalla del step 7 el bloque de función FC5 donde se puede apreciar en la entrada de datos el valor de 0000000020 que equivale a una medida de 20 m³/h simulada por el instrumento fluke, además en la pantalla del WinCC se puede apreciar la tendencia del caudal que ente caso se probó en cuatro puntos 5, 10,15 y 20 m³/h pudiendo observar la linealidad de la señal de 4-20 ma con respecto a la medida de la variable.

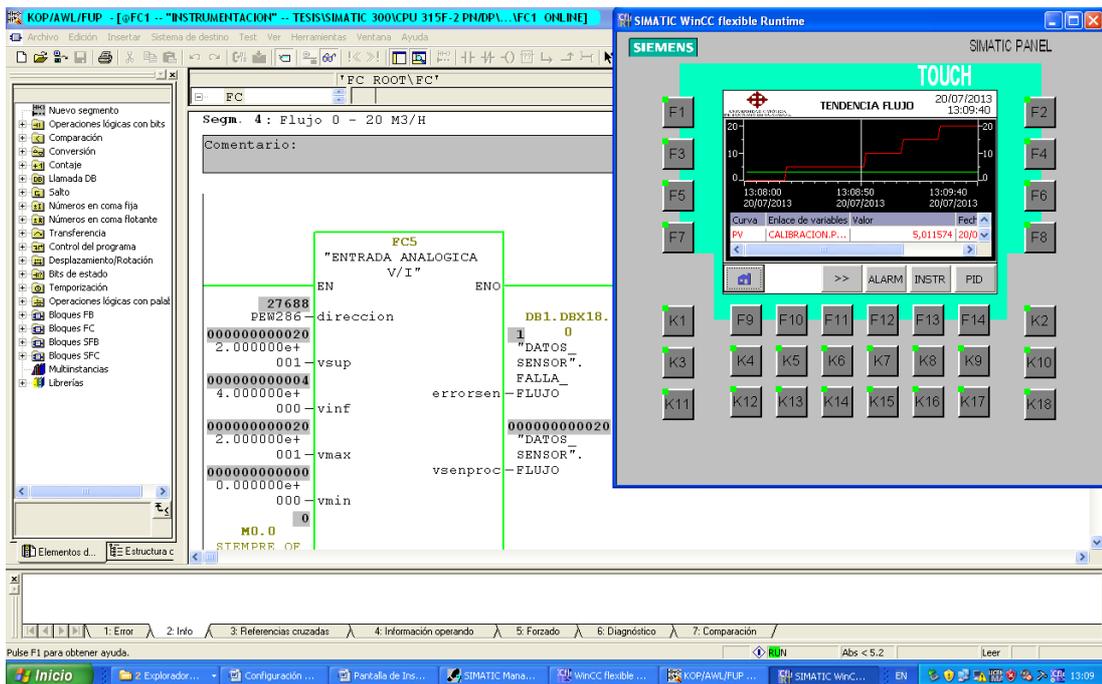


Figura # 4. 56: Módulo FC5 midiendo la entrada de datos de la medida de caudal 20 m³/h
Fuente: Héctor Galvis y Humberto Zeas

La tabla 4.5 muestra las diferentes mediciones realizadas comparando la entrada de señal del transmisor de flujo de 4-20 mA con un rango de 0-10 m³/h

| # PRUEBA | CORRIENTE DE CONTROL (ma) | CAUDAL(M3/H) |
|----------|---------------------------|--------------|
| 1 | 4 | 0 |
| 2 | 8 | 5 |
| 3 | 12 | 10 |
| 4 | 16 | 15 |
| 5 | 20 | 20 |

Tabla # 4. 5: Tabla de mediciones comparando el transmisor de caudal.
Fuente: Héctor Galvis y Humberto Zeas

Figura 4.57 muestra la tendencia del flujo en función de la señal de Corriente de 4-20 ma

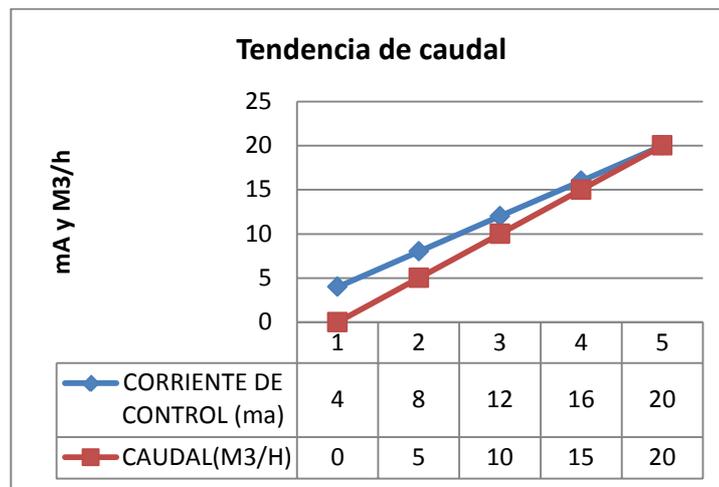


Figura # 4. 57: Respuesta del transmisor de caudal en función de la corriente.
Fuente: Héctor Galvis y Humberto Zeas

4.15. PRUEBAS DEL PROCESO EN FORMA LIBRE

Estas pruebas se realizaron con el fin de comprobar todo el proceso en forma libre sin perturbaciones en donde ya interviene el PLC para controlar la variable de caudal y ver la acción del control PID, para esto nos valemos del HMI en la pantalla de PID en donde se selecciona un set point de 3m³/h y se comprueban las mediciones en la pantalla de instrumentos.

Figura 4.58 muestra el bloque de función FC5 en la entrada de datos el valor de 0000002.9919 que es la medición del flujometro que es de 3m³/h y que se puede apreciar en la pantalla de instrumentos, que ademas se puede ver la frecuencia con que el variador esta enviando al motor de la bomba para mantener el flujo que se ha seteado.

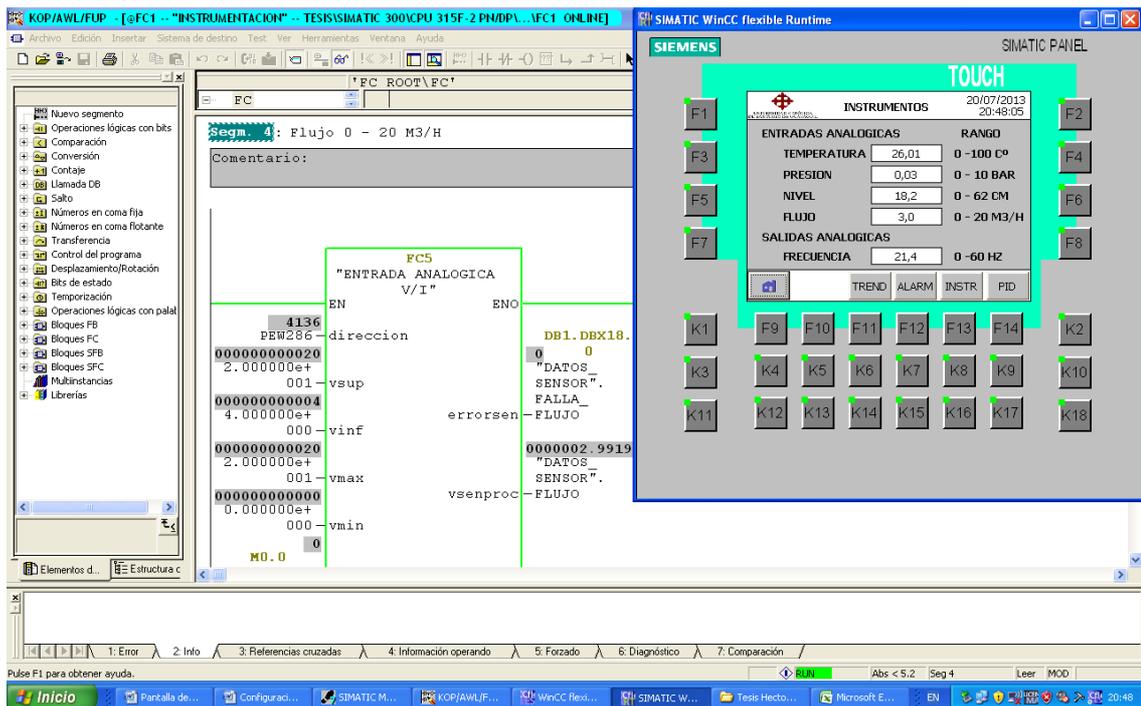


Figura # 4. 58: Módulo FC5 midiendo la entrada de datos medicion del flujometro que es de 3m³/h
Fuente: Héctor Galvis y Humberto Zeas

Luego se cambia el set point a 4m³/h y se prueba el comportamiento del proceso, asi mismo en la pantalla de instrumentos se ve las medidas del flujometro y de la salida del variador de frecuencia.

La figura 4.59 se muestra el bloque de función FC5 en la entrada de datos el valor de 0000003.99884 que es la medición del flujometro que es de 4m³/h ademas en la pantalla se puede ver la tendencia de flujo que es de 4m³/h.

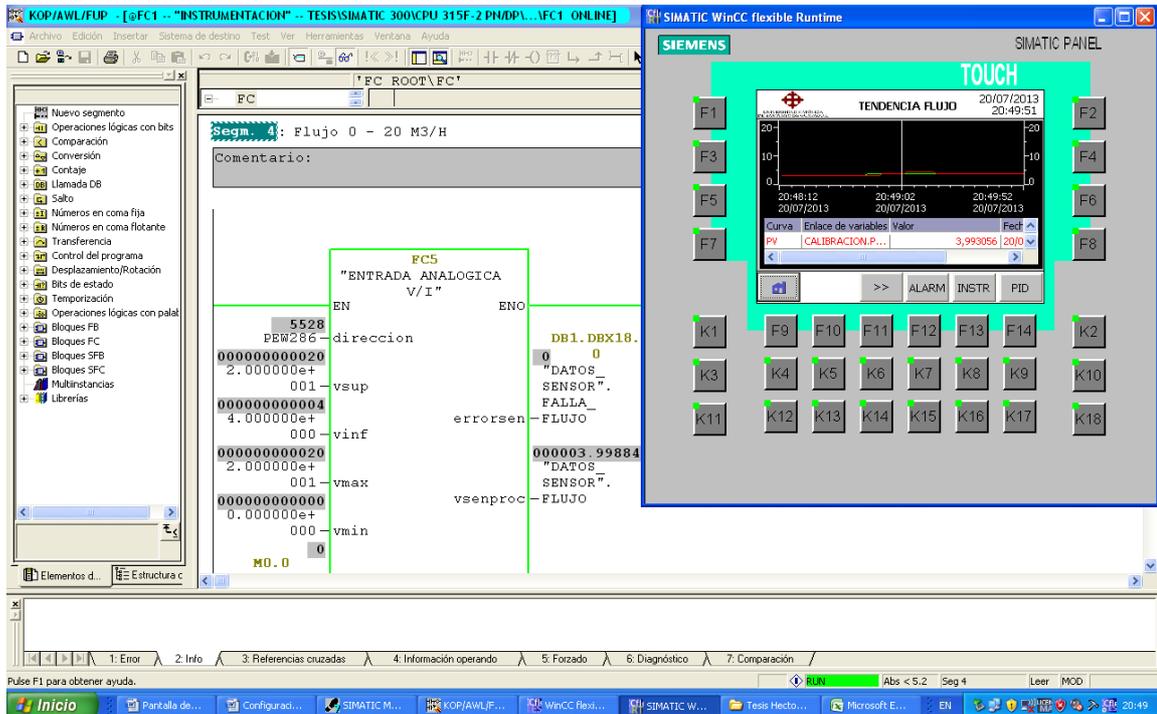


Figura # 4. 59: Módulo FC5 midiendo la entrada de datos medicion del flujometro que es de 4m³/h
Fuente: Héctor Galvis y Humberto Zeas

Ahora se cambia el set point a 7m³/h par ver el comportamiento del proceso y se puede observar en la pantalla de instrumentos las medidas del flujometro y del variador de frecuencia.

La figura 4.60 muestra el bloque de funcion FC5 en la entrada de datos el valor de 0000006.9213 que es la medicion del flujometro que es de 7m³/h ademas en la pantalla se puede ver la tendencia de flujo que es de 7m³/h.

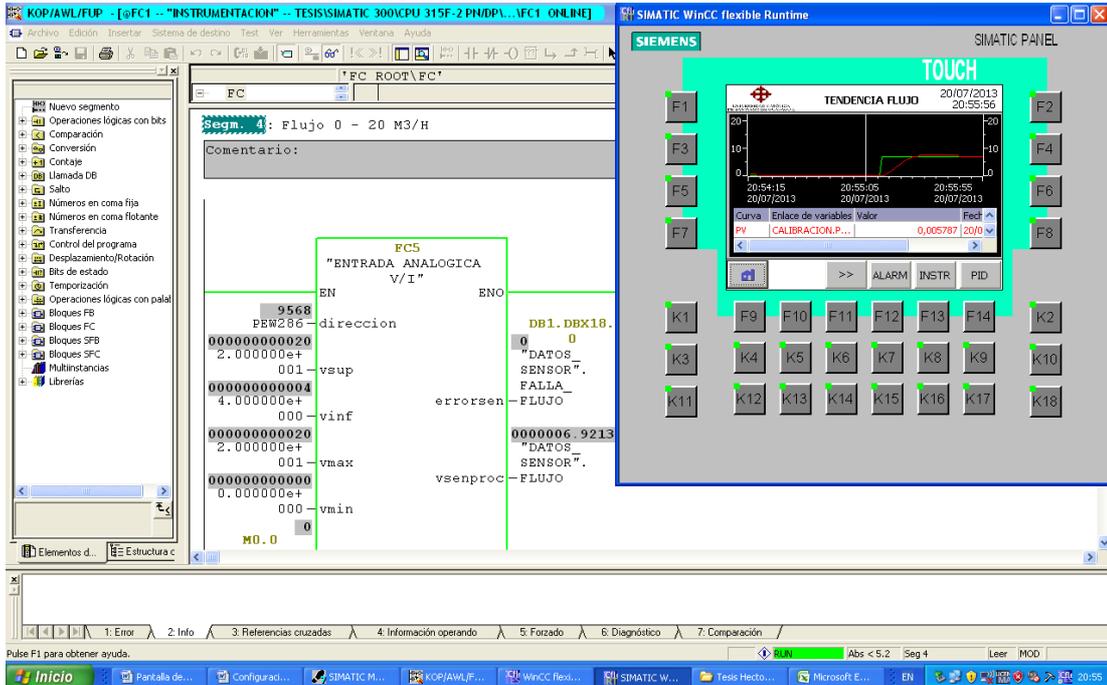


Figura # 4. 60: M3dulo FC5 midiendo la entrada de datos medicion del flujometro que es de 7m³/h
Fuente: H3ctor Galvis y Humberto Zeas

Seguimo esta vez a un set point a 8m³/h se puede observarpar veren la en la pantalla como cambian las medidas al ir aumentando el setpoint, la frecuencia del variador aumenta para compensar el flujo seteado.

La figura 4.61 muestra el bloque de funcion FC5 en la entrada de datos el valor de 0000008.05556 que es la medicion del flujometro que corresponde a 8m³/h ademas en la pantalla se puede ver la ytendencia de flujo que es de 8m³/h.

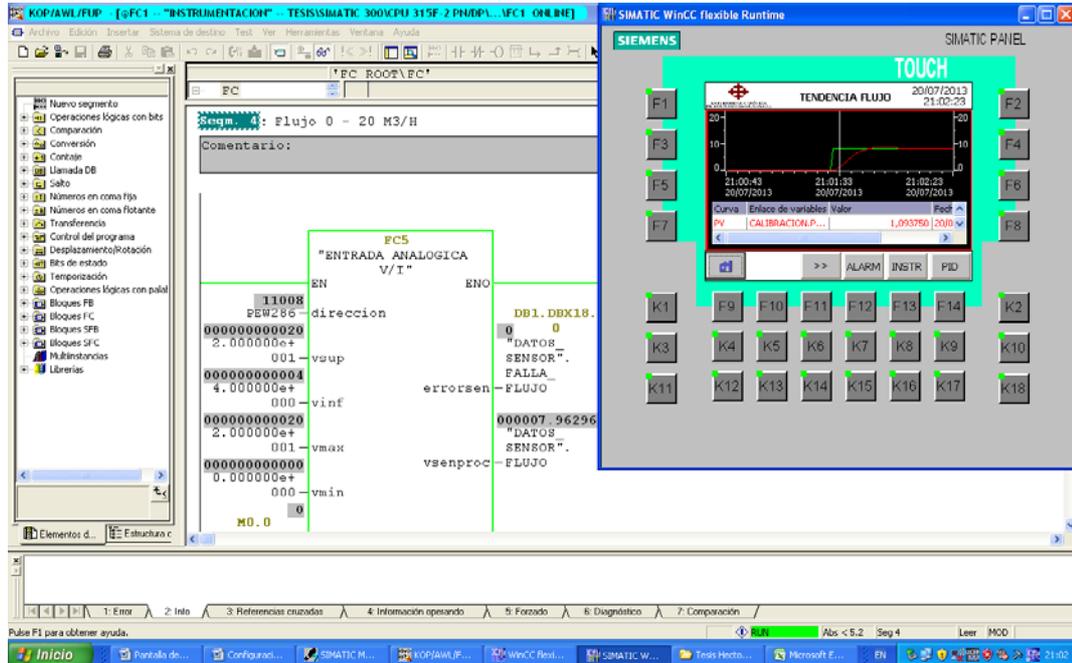


Figura # 4. 61: Módulo FC5 midiendo la entrada de datos medicion del flujometro que es de 8m³/h
Fuente: Héctor Galvis y Humberto Zeas

4.16. PRUEBA DEL PROCESO CON INTERFERENCIA

Estas pruebas de realizaron para comprobar el comportamiento del proceso haciendo interferencia es decir provocando perturbaciones que intenten cambiar el flujo con que esta establecido y ver como el control PID del PLC compense estas perturbaciones y mantengan el flujo en una forma constante, para esto nos valemos del HMI en la pantalla de PID en donde se selecciona un set point de 5m³/h y se comprueba las mediciones en la pantalla de instrumentos.

En la figura 4.62 se puede observar que al fijar el set point en 5m³/h rapidamente el flujo alcanza el valor seteado, pero al interferir en el proceso es decir que se abre un 75% la valvula No 2 de la salida de la bomba, se observa que el flujo tiende a

disminuir, pero enseguida el PLC hace los ajustes automáticamente y aumenta la frecuencia del motor para que la bomba aumente el caudal y alcance los 5m³/h que se ha fijado previamente.

La figura 4.62 también se observa en la pantalla WinCC la tendencia del flujo en el momento en que tiende a estabilizarse y mantenerse en los 5m³/h que se ha fijado previamente y después de haber interferido en el proceso.

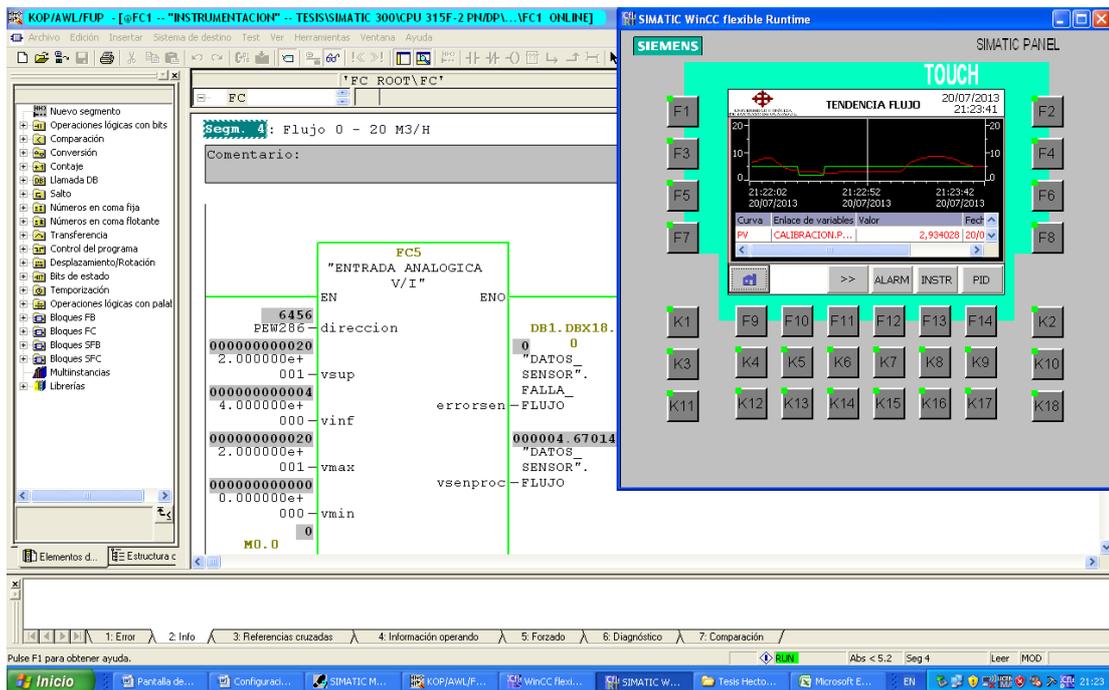


Figura # 4. 62: Módulo FC5 midiendo interferencia con set point de 5m³/h
Fuente: Héctor Galvis y Humberto Zeas

La tabla 4.6 indica la tendencia de la frecuencia del variador con respecto al caudal.

| SET POINT CAUDAL (m ³ /h) | VALVULA # 1 % | CAUDAL (m ³ /h) | FRECUENCIA (Hz) | VALVULA # 2 % | PRESION (BAR) | CORRIENTE DE CONT. (mA) |
|--------------------------------------|---------------|----------------------------|-----------------|---------------|---------------|-------------------------|
| 5 | 100 | 5 | 36,33 | 100 | 0,1 | 11,061 |
| 5 | 100 | 5 | 38,4 | 75 | 0,2 | 12,7 |
| 5 | 100 | 5 | 47,3 | 50 | 0,6 | 15,81 |
| 5 | 100 | 4,11 | 60 | 25 | 1 | 19,99 |

Tabla # 4. 6: Tendencia de la frecuencia del variador con respecto al caudal.
Fuente: Héctor Galvis y Humberto Zeas

Se puede observar que al mantener un 100% abierta la valvula No 2 el caudal se mantiene en 5m³/h y la frecuencia del variador es de 36,33 Hz, al hacer la interferencia es decir abrimos la valvula No 2 em un 75%, vemos que la frecuencia del variador aumenta a 38,4 Hz para mantener el caudal constante al valor fijado en el set point, al ir cerrando mas la valvula No 2 hasta alcanzar el 50% abierta, vemos que la frecuencia vuelve a aumentar a 47,3 Hz y el flujo se mantiene en 5m³/h pero ya con un esfuerzo mayor de la bomba que ha aumentado su velocidad, luego al cerrar mas la valvula hasta un 25% abierta, vemos que el variador ha alcanzado la frecuencia maxima de 60 Hz pero esta vez la bomba solo alcanza un flujo de 4,11 m³/h y no iguala el flujo fijado fijado, ya que la valvula esta muy cerrada y se restringe mucho el flujo.

La figura 4.62 tendencia de la frecuencia con respecto al caudal.

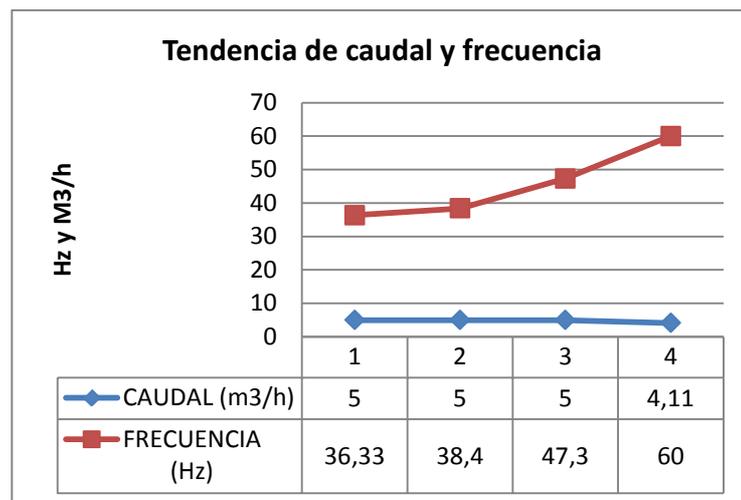


Figura # 4. 63: Respuesta del transmisor de caudal y frecuencia
Fuente: Héctor Galvis y Humberto Zeas

La figura 4.64 muestra la tendencia de la frecuencia con respecto a la apertura de la valvual No 2

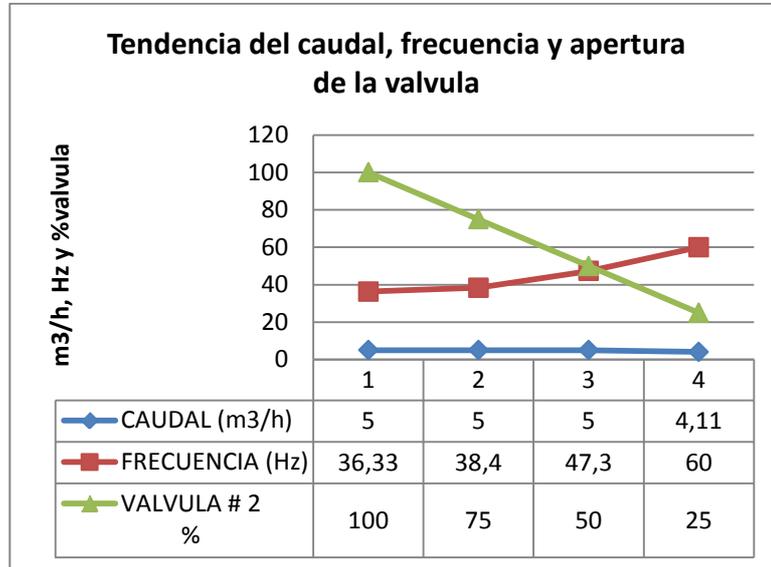


Figura # 4. 64: tendencia de la frecuencia con respecto a la válvula
Fuente: Héctor Galvis y Humberto Zeas

CAPITULO 5

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

- Se ha desarrollado un banco de pruebas de procesos industriales para docencia e investigación. Las características de prototipado rápido permiten asimilar de forma más eficiente los estudios que se abordan alrededor del desarrollo del sistema scada. Se desarrolló un sistema de medición con características industriales de relativamente fácil reproducción para dotar otros bancos de pruebas de sistemas electromecánicos y sistemas industriales que lo requieran.
- El banco de procesos industriales fue diseñado considerando las normas de seguridad, tanto para la protección de los operadores como de los equipos que se encuentran instalado.
- Al implementar la integración de los equipos de instrumentación industrial tales como caudalímetro, transmisor de nivel, presión y temperatura, permitirá a los alumnos el inicio de la utilización de sensores que trabajan bajo el lazo de corriente de 4–20 mA, la utilización de controladores lógicos programables y el interface hombre-máquina, mediante prácticas de control de procesos industriales.
- Al diseñar el HMI se ha conseguido implementar un sistema de interface hombre-máquina amigable con el usuario y fácil de interpretar, de esta manera se agiliza el uso del banco de pruebas.
- No es conveniente que en la práctica de control de caudal el sistema opere debajo de los 8 Hz ya que en el trasmisor de caudal no se aprecia la medición.

- Las señales de tipo analógicas que se tiene en el sistema de control deben ser escaladas adecuadamente, con el fin de que el PLC las maneje correctamente
- El PLC Siemens S7-300 es de tipo modular, lo que facilita la expansión del controlador, permitiendo agregar módulos de señales y de comunicación de acuerdo a los requerimientos de la aplicación.
- En caso de que el transmisor de caudal requiera de mantenimiento, el tramo de tubería que contiene el trasmisor esta acoplado de tal forma que pueda realizarse el cambio fácilmente.

5.2. RECOMENDACIONES

- Con el fin de precautelar el buen funcionamiento de los equipos y accesorios eléctricos es recomendable leer el manual de usuario de los equipos antes de su utilización y evitar así accidentes tanto al estudiante como a los equipos.
- Se recomienda que después de cada practica realizada en el banco de pruebas procesos industriales, se proceda a desaguar el agua acumulada en el tanque de reserva, con el fin de que no se acumule sedimentos con el tiempo dentro del tanque reserva que puedan afectar e incluso dañar a los equipos.
- Para evitar la presencia de hongos en el tanque de reserva es recomendable administrar cloro en pequeñas cantidades después de haber realizado el cambio del agua.
- Para poder visualizar y controlar el proceso desde la PC se recomienda que el computador tenga la configuración IP apropiada.
- Para evitar que la bomba no gire en sentido contrario se recomienda observar el diagrama eléctrico de conexiones a la salida del variador.
- Se recomienda utilizar el control Handheld, en caso que se requiera cambiar la Parametrización del transmisor de nivel.

ANEXOS

ANEXO 1: PRESUPUESTO

| COSTO DE MATERIALES MECANICOS E HIDRAULICOS | | | | |
|---|---|----------|----------|----------------|
| ITEM | DESCRIPCION | CANTIDAD | COSTO \$ | TOTAL |
| 1 | CODO ACERO INOXIDABLE ROSCA 90 1 1/2" | 1 | 5,22 | 5,22 |
| 2 | LLAVE DE ESFERA CIERRE RAPIDO | 2 | 5,31 | 10,62 |
| 3 | VALVULA CHECKE VERTICAL 1 1/2" | 1 | 10,54 | 10,54 |
| 4 | DISCO FLOP PARA ULIR 4" | 2 | 3,84 | 7,68 |
| 5 | UNION INOXODABLE ROSCADA 1/2" | 3 | 4,12 | 12,36 |
| 6 | TUBOO INOXIDABLE DE 1/2 " T304 | 1 | 17,64 | 17,64 |
| 7 | UNION ONOXODABLE ROSCADA 3/8" T304 | 2 | 2,07 | 4,14 |
| 8 | CODO A/I ROSCA 90 2" | 2 | 7,31 | 14,62 |
| 9 | UNION A/I ROSCA 1" | 1 | 2,89 | 2,89 |
| 10 | NUDO A/I ROSCADO 1" | 2 | 4,42 | 8,84 |
| 11 | CODO A/I ROSCA 90 1" | 2 | 2,63 | 5,26 |
| 12 | RUEDA CON FRENO GIRATORIA 75 Kg | 4 | 6,12 | 24,48 |
| 13 | BOMBA CERTRIFUGA THEBE TH-16L 1/2 HP | 1 | 192,8 | 192,8 |
| 14 | CORTE GUILLOTINA HSTA 2mm | 7 | 0,18 | 1,26 |
| 15 | SERV. DE DOBLES HASTA 2 mm | 6 | 0,22 | 1,32 |
| 16 | ROLADO HASTA DE 0- 3mm | 20 | 0,18 | 3,6 |
| 17 | PLANCHA DE ACERO INOXIDABLE 4X8 304 1,9mm | 2 | 229,36 | 458,72 |
| 18 | CONARCO AC. INOX. 2mm | 0,5 | 17,85 | 8,93 |
| 19 | DISCOO DE CORTE 14" DW-444640 | 1 | 7,67 | 7,67 |
| 20 | ANGULO 40 X 3 mm (1 1/2 X 1/8") | 2 | 12,32 | 24,64 |
| 21 | BRIDA INOX SLIPON 2" X 150 Lbs T304 | 2 | 27,27 | 54,54 |
| 22 | SOLDADURA AGA R60 3/32" | 1 | 22,18 | 22,18 |
| 23 | CODO A/I ROSCA 90 2" | 2 | 7,31 | 14,62 |
| 24 | DISCO DE CORTE 115X1,6 | 2 | 2,5 | 5 |
| 25 | DISCO DE CORTE 4X1/2" | 2 | 0,98 | 1,96 |
| 26 | REDUCCION INOX 2-1" 150Lbs | 2 | 9,24 | 18,48 |
| 27 | UNION INOX 316 CI 150-2" | 1 | 5,97 | 5,97 |
| 28 | CODO A/I ROSCA 90 1 1/2" | 1 | 6,15 | 6,15 |
| 29 | CODO A/I ROSCA 90 1" | 2 | 2,9 | 5,8 |
| 30 | NUDO A/I ROSCADO 1 1/2" | 1 | 11,7 | 11,7 |
| 31 | CASQUETE | 1 | 35 | 35 |
| 32 | ANILLOS TIPO BRIDA | 2 | 4 | 8 |
| 33 | CORTE PLASMA | 1 | 4 | 4 |
| 34 | SIERRA DE COPA ACERO | 1 | 9,81 | 9,81 |
| 35 | LLAVE DE CHOQUE | 1 | 1,51 | 1,51 |
| 36 | CEPILLO CIRCULAR ACERO | 1 | 4,45 | 4,45 |
| 37 | DISCO DE CORTE 4" | 3 | 1,73 | 5,19 |
| 38 | MINIABRAZADERA | 2 | 0,28 | 0,56 |
| | | | | 1038,15 |
| | IVA | | | 1,12 |
| | SUBTOTAL | | | 1162,72 |
| | SERVICIO DE SOLDADURA Y ARMADO | | | 400 |
| | SERVICIO DE PINTURA | | | 80 |
| | TOTAL | | | 1642,72 |

| COSTO DE MATERIALES ELECTRICOS | | | | |
|---------------------------------------|--------------------------------|----------|----------|---------------|
| ITEM | DESCRIPCION | CANTIDAD | COSTO \$ | TOTAL |
| 1 | CABLE DE INSTRUMENTACION | 20 mts | 6 | 6 |
| 2 | FUENTE DE ALIMENTACION 24 VDC. | 1 und. | 170 | 170 |
| 3 | CANAleta PLASTICAS | 1 und. | 10 | 10 |
| 4 | BREAKER 10 AMP. 1 POLO | 1 und. | 15 | 15 |
| 5 | BREAKER 10 AMP. 3 POLOS | 1 und. | 20 | 20 |
| 6 | FUSIBLES TUBULAR | 3 und. | 1 | 1 |
| 7 | BORNERAS | 20 und | 1 | 1 |
| 8 | RIEL DIN | 1 und. | 5 | 5 |
| 9 | MODULO ANALOGICO SM 331 | 1 und. | 400 | 400 |
| SUBTOTAL | | | | 628 |
| IVA | | | | 1,12 |
| TOTAL | | | | 703,36 |

| COSTO APROXIMADO DE LOS EQUIPOS DE INSTRUMENTACION / CONTROL | | | | |
|---|-------------------------------|----------|----------|--------------|
| ITEM | DESCRIPCION | CANTIDAD | COSTO \$ | TOTAL |
| 1 | MEDIDOR DE CAUDAL | 1 und. | 4000 | 4000 |
| 2 | MEDIDOR DE NIVEL | 1 und. | 1200 | 1200 |
| 3 | MEDIDOR TEMPERATURA | 1 und. | 450 | 450 |
| 4 | MEDISOR DE PRESION | 1 und. | 450 | 450 |
| 5 | CONTROLADOR LOGICO PROGAMABLE | 1und. | 2000 | 2000 |
| 6 | HMI | 1 und. | 900 | 900 |
| 7 | VARIADOR DE FRECUENCIA | 1 und. | 600 | 600 |
| SUBTOTAL | | | | 9600 |
| IVA | | | | 1,12 |
| TOTAL | | | | 10752 |

| | |
|---|--------------|
| COSTO DE MATERIALES MECANICOS / HIDRAULICOS | 1642,7 |
| COSTO DE MATERIALES ELECTRICOS | 703,36 |
| COSTO DE EQUIPOS DE INSTRUMENTACION / CONTROL | 10752 |
| COSTO TOTAL DEL PROYECTO | 13098 |

ANEXO 2: CARACTERÍSTICAS DEL VARIADOR DE FRECUENCIA MICROMASTER 440

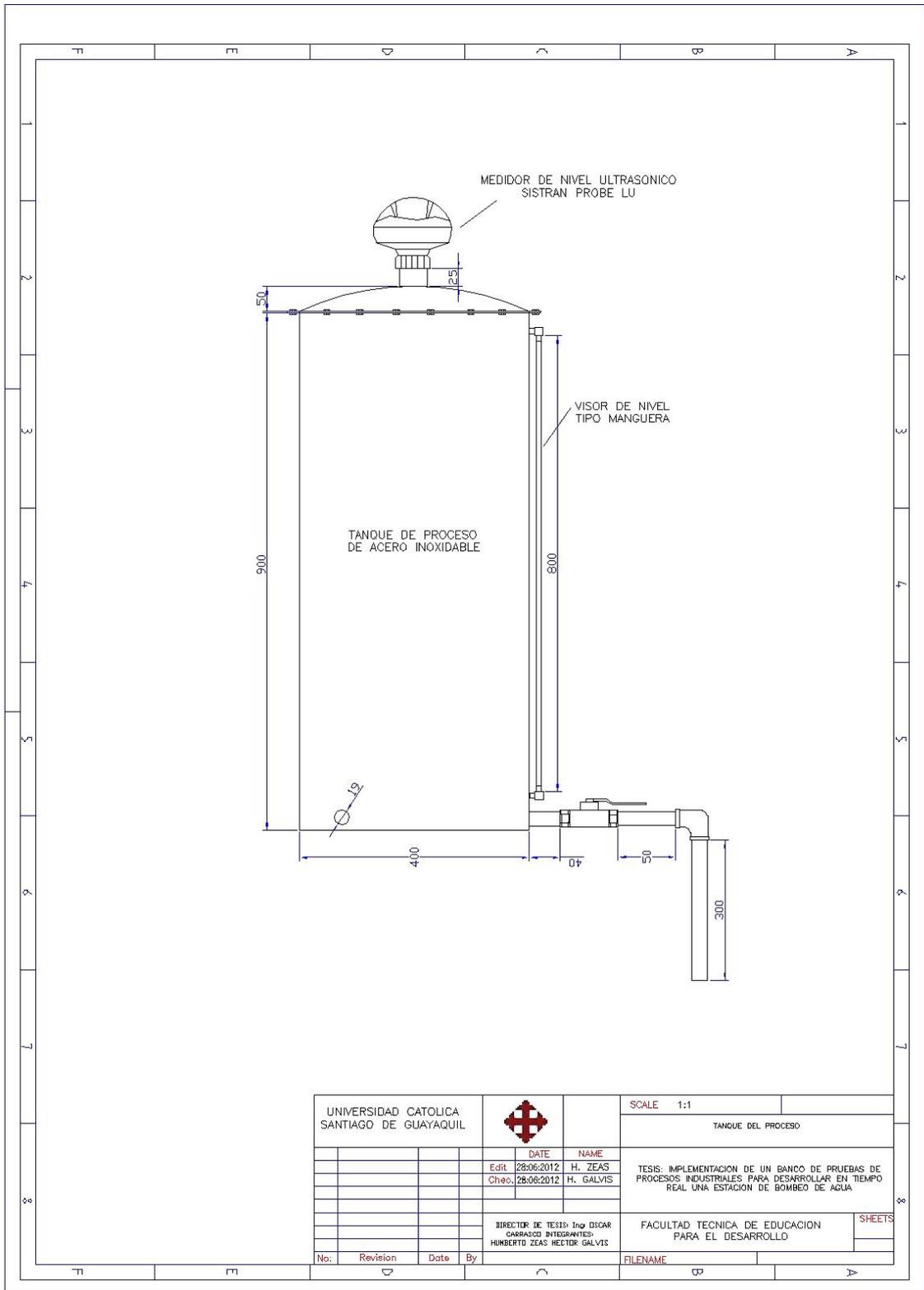
| Característica | | Especificación | |
|---|--------------------|---|---------------------------------------|
| Tensión de red y Márgenes de potencia | CT | 1 AC 200 a 240 V ± 10 % | 0,12 kW - 3,0 kW (0,16 hp - 4,0 hp) |
| | VT | 3 AC 200 a 240 V ± 10 % | 0,12 kW - 45,0 kW (0,16 hp - 60,0 hp) |
| | | | 5,50 kW - 45,0 kW (7,50 hp - 60,0 hp) |
| | CT | 3 AC 380 a 480 V ± 10 % | 0,37 kW - 75,0 kW (0,50 hp - 100 hp) |
| | VT | | 7,50 kW - 90,0 kW (10,0 hp - 120 hp) |
| | VT | 3 AC 500 a 600 V ± 10 % | 0,75 kW - 75,0 kW (1,00 hp - 100 hp) |
| | | | 1,50 kW - 90,0 kW (2,00 hp - 120 hp) |
| Frecuencia de entrada | | 47 a 63 Hz | |
| Frecuencia de salida | | 0 Hz a 650 Hz | |
| Factor de potencia | | ±0,7 | |
| Rendimiento del convertidor | | 96 a 97 % | |
| Capacidad de sobrecarga (Par constante (CT)) | | 50 % de sobrecarga durante 60 s en un período de 5 min o 100 % de sobrecarga durante 3 s en un período de 5 min referido a la corriente nominal de salida | |
| Corriente de arranque | | Inferior a la corriente nominal de entrada | |
| Método de control | | Control V/f lineal; Control V/f lineal con Flux Current Control (FCC); U Control V/f cuadrático; Control V/f multipunto; Control V/f lineal con modo ECO; Control V/f para aplicaciones textiles; Control V/f con FCC para aplicaciones textiles; Control V/f con consigna de tensión independiente; Sensorless Vector Control; Sensoless Vector Torque Control | |
| Frecuencia de pulsación | | 2 kHz a 16 kHz (en pasos de 2 kHz) | |
| Frecuencias fijas | | 15, parametrizable | |
| Frecuencias inhibibles | | 4, parametrizable | |
| Resolución de consigna | | 0,01 Hz digital, 0,01 Hz serie, 10 bits analógica (potenciómetro motorizado 0.1 Hz [0.1% (en modo PID)]) | |
| Entradas digitales | | 6, parametrizable (libre de potencial), conmutables entre activa con high / activa con low (PNP/NPN) | |
| Entrada analógica 1 | | 0 - 10 V, 0 - 20 mA y -10 V a +10 V | |
| Entrada analógica 2 | | 0 - 10 V y 0 - 20 mA | |
| Salidas de relé | | 3, parametrizable 30 V DC / 5 A (carga resistiva), 250 V AC 2 A (carga inductiva) | |
| Salida analógica | | 2, parametrizable (0 a 20 mA) | |
| Interface serie | | RS-485, opcionales RS-232 | |
| Compatibilidad electromagnética | | Filtros CEM opcionales según EN55011 Clase A o B, y también disponibles filtros Clase A internos | |
| Frenado | | frenado por inyección de corriente continua, frenado combinado y frenado dinámico | |
| Grado de protección | | IP20 | |
| Margen de temperatura | Par constante (CT) | -10 °C a +50 °C (14 °F a 122 °F) | |
| | Par variable (VT) | -10 °C a +40 °C (14 °F a 104 °F) | |
| Temperatura de almacenamiento | | -40 °C a +70 °C (-40 °F a 158 °F) | |
| Humedad relativa | | < 95 % (sin condensación) | |
| Altitud de operación | | hasta 1000 m sobre el nivel del mar sin reducción de potencia | |
| Características de protección | | Mínima tensión, sobretensión, sobrecarga, defecto a tierra, cortocircuito, protección basculante, protección de bloqueo del motor, sobretemperatura en motor, sobretemperatura en convertidor, bloqueo de parámetros | |
| Normas | | UL, cUL, CE, C-tick | |
| Marcado CE | | de acuerdo con las directivas europeas "Baja tensión" 73/23/CEE y "Compatibilidad electromagnética" 89/336/CEE | |

ANEXO 3: SIMBOLOGIA ISA

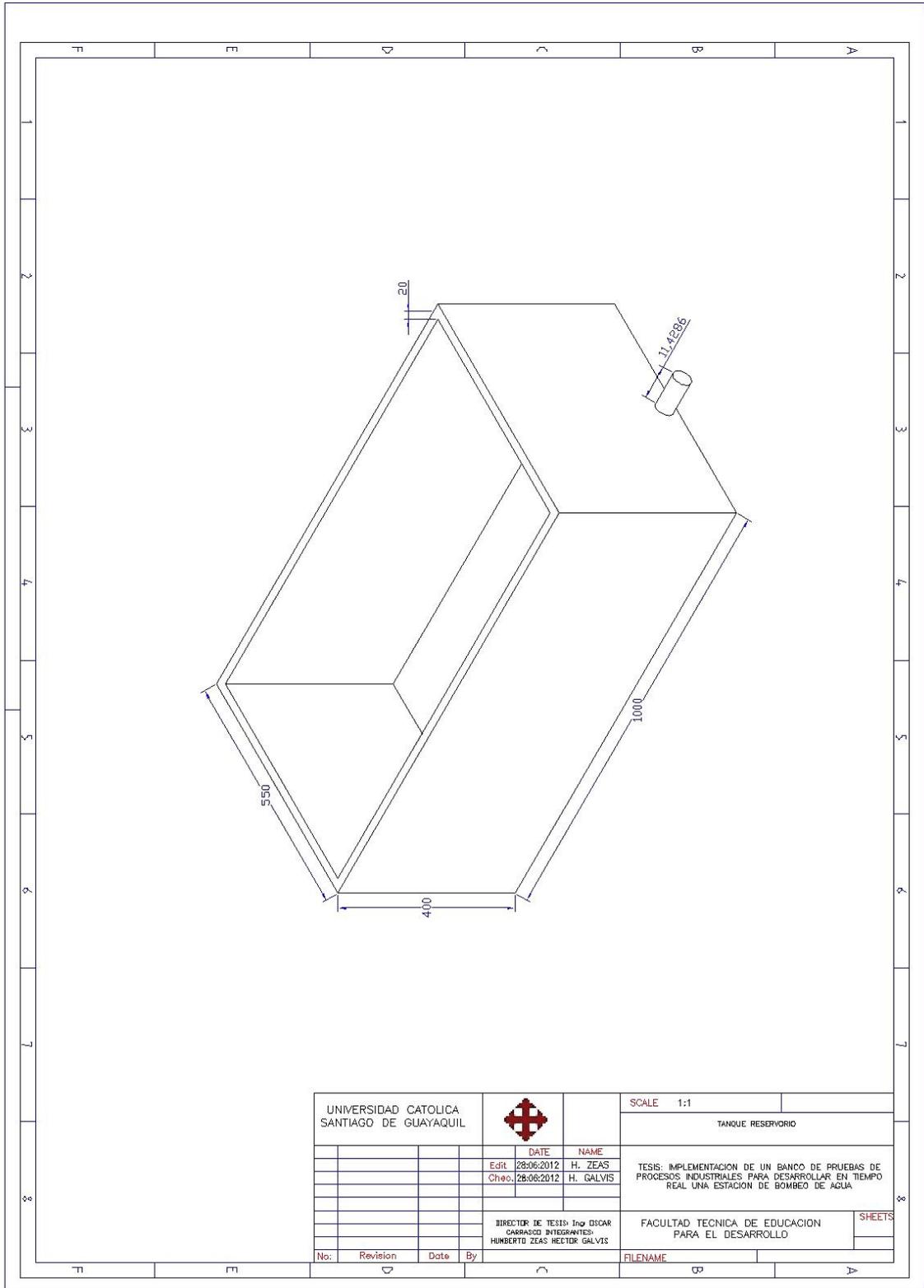
SIMBOLOGIA DE INSTRUMENTACION - NORMA ISA

| SIMBOLOS EN DIAGRAMAS DE TUBERIAS E INSTRUMENTACION | | ELEMENTOS PRIMARIOS | | TEMPERATURA: | |
|---|---|----------------------------|--|-------------------------------|--|
| | VALVULA DE GLOBO | | DISCO DE RUPTURA PARA ALIVO DE PRESION | | MEDIDOR DE TEMPERATURA CONEXION CON TERMOPOZO |
| | VALVULA DE COMPUERTA | | DISCO DE RUPTURA PARA ALIVO DE VACIO | | PUNTO DE MEDICION DE TEMPERATURA |
| | VALVULA DE ANGULO | ELEMENTOS PRIMARIOS | | | |
| | VALVULA DE MARIPOSA | FLUJO: | | | |
| | VALVULA DE BOLA | | ORIFICIO DE RESTRICCION FIJO | | ELEMENTO DE TEMPERATURA SIN THERMOWELL.(ELEMENTO NO CONECTADO A UN INSTRUM.SECUNDARIO) |
| | VALVULA CHECK | | PLACA DE ORIFICIO | | INDICADOR DE TEMPERATURA LOCAL |
| | VALVULA DE AGUJA | | PLACA DE ORIFICIO DE CAMBIO RAPIDO | | ELEMENTO DE TEMPERATURA CON TERMOPOZA |
| | VALVULA DE TRES VIAS | | ELEMENTO DE FLUJO TIPO VENTURI | ELEMENTOS MISCELANEOS: | |
| | VALVULA DE CONTROL CON ACTUADOR DE DIAFRAGMA | | ELEMENTO DE FLUJO TIPO PITOT | | LUZ INDICADORA |
| | VALVULA DE CONTROL CON ACTUADOR DE DIAFRAGMA y VOLANTE MANUAL | | MEDIDOR DE CAUDAL TIPO TURGINA | | DETECTOR DE FUEGO ULTRAVIOLETA |
| | VALVULA DE CONTROL CON ACTUADOR MANUAL | | MEDIDOR DE CAUDAL TIPO VORTEX | | CORNETA PARA ALARMA |
| | VALVULA DE CONTROL CON ACTUADOR DE DIAFRAGMA y POSICIONADOR | | MEDIDOR DE CAUDAL TIPO SONICO | | CONTINUACION EN PLANO INDICADO |
| | VALVULA AUTOMATCA CON ACTUADOR DE PISTON y MUELLE DE RETORNO | | MEDIDOR DE CAUDAL TIPO ROTAMETRO | | LLEGADA DE PLANO INDICADO |
| | VALVULA AUTOMATCA CON ACTUADOR DE PISTON DE DOBLE ACCION | | ENDEREZADOR DE FLUJO | SIMBOLOS PARA RELES | |
| | VALVULA AUTOMATCA CON ACTUADOR ELECTROHIDRAULICO | | | | SUMAR-RESTAR-TOTALIZAR |
| | | | | | RESTAR |
| | | | | | POLARIZACION |

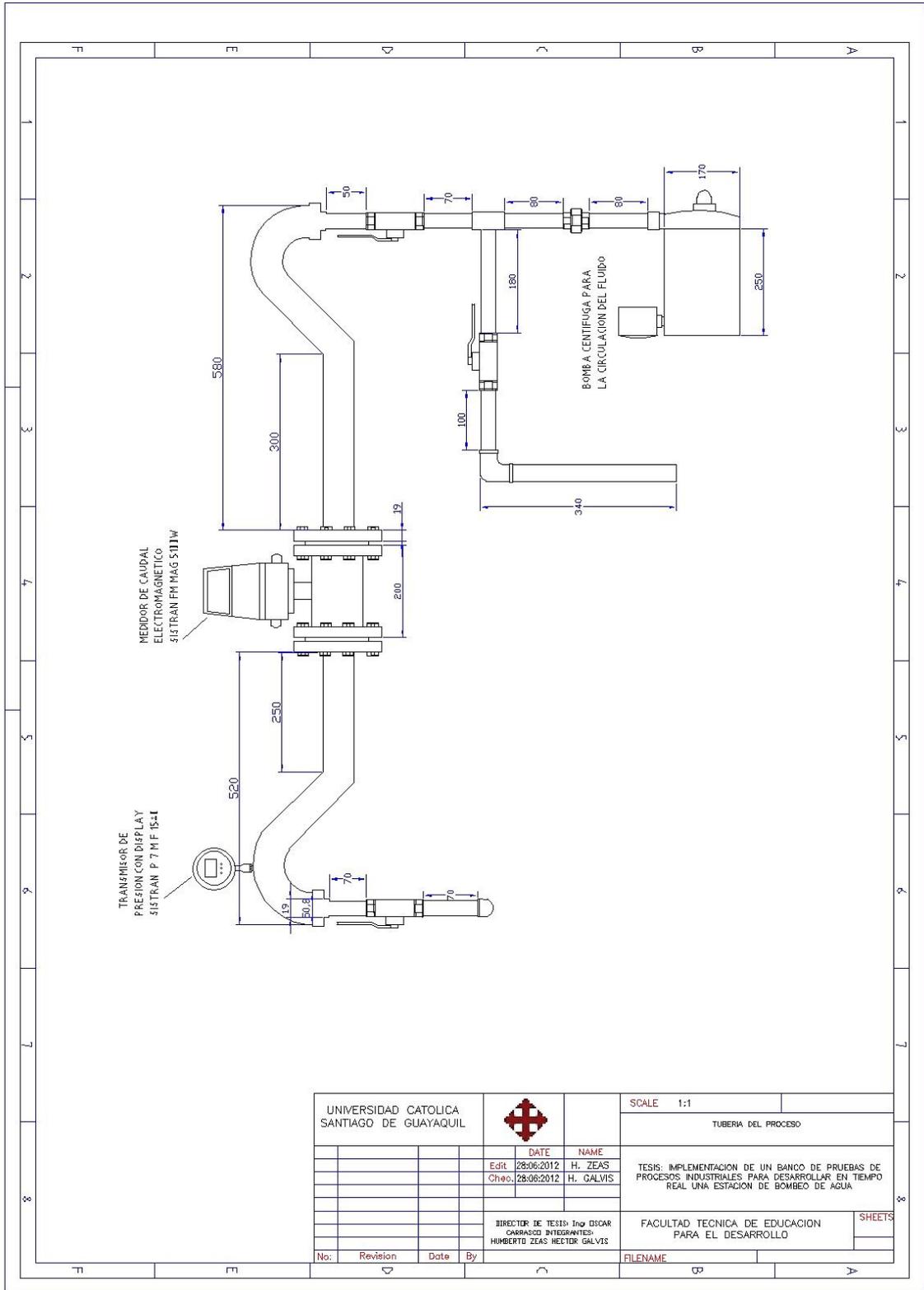
ANEXO 4: TANQUE DEL PROCESO



ANEXO 5: TANQUE RESERVORIO

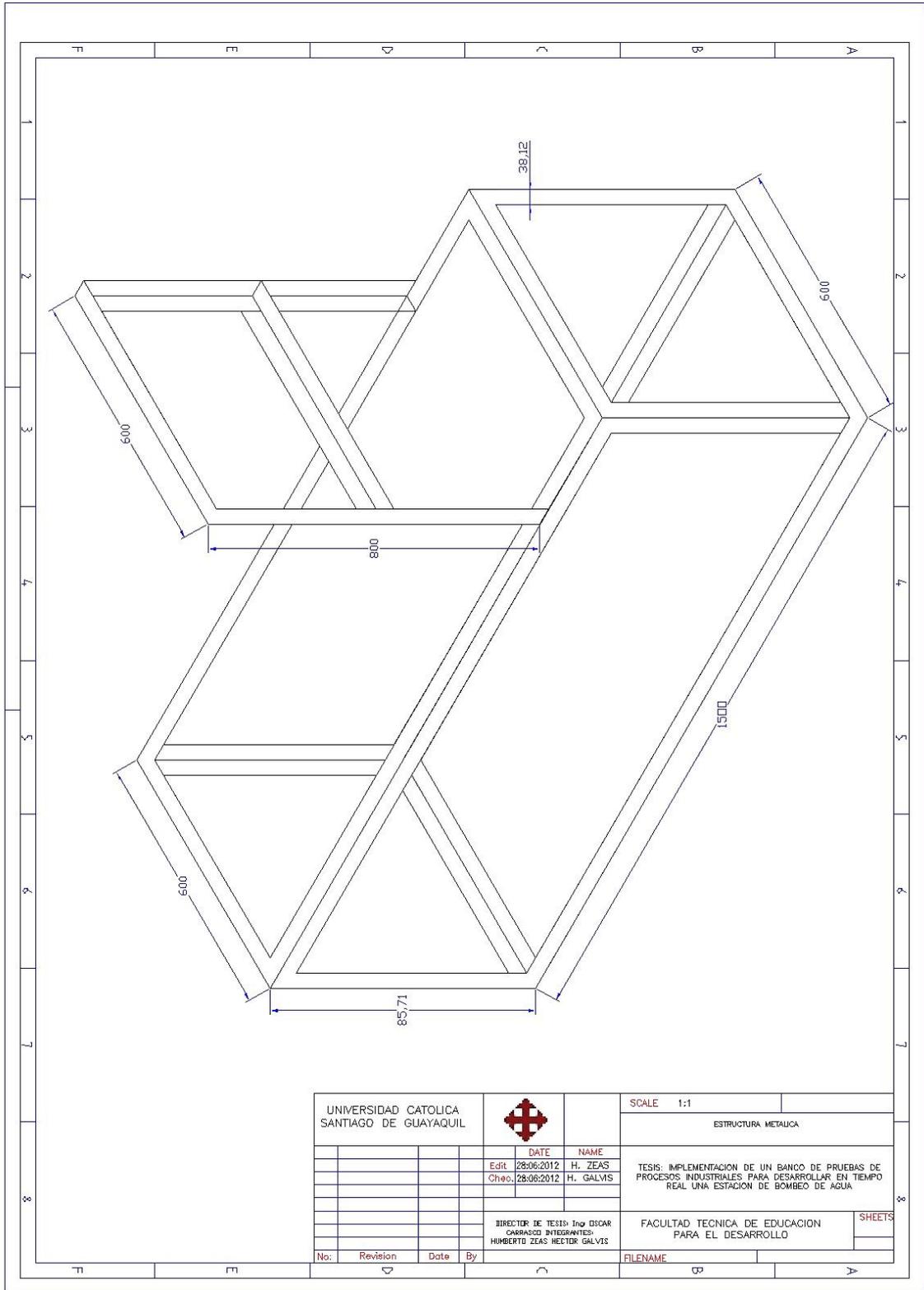


ANEXO:6 TUBERIA DEL PROCESO

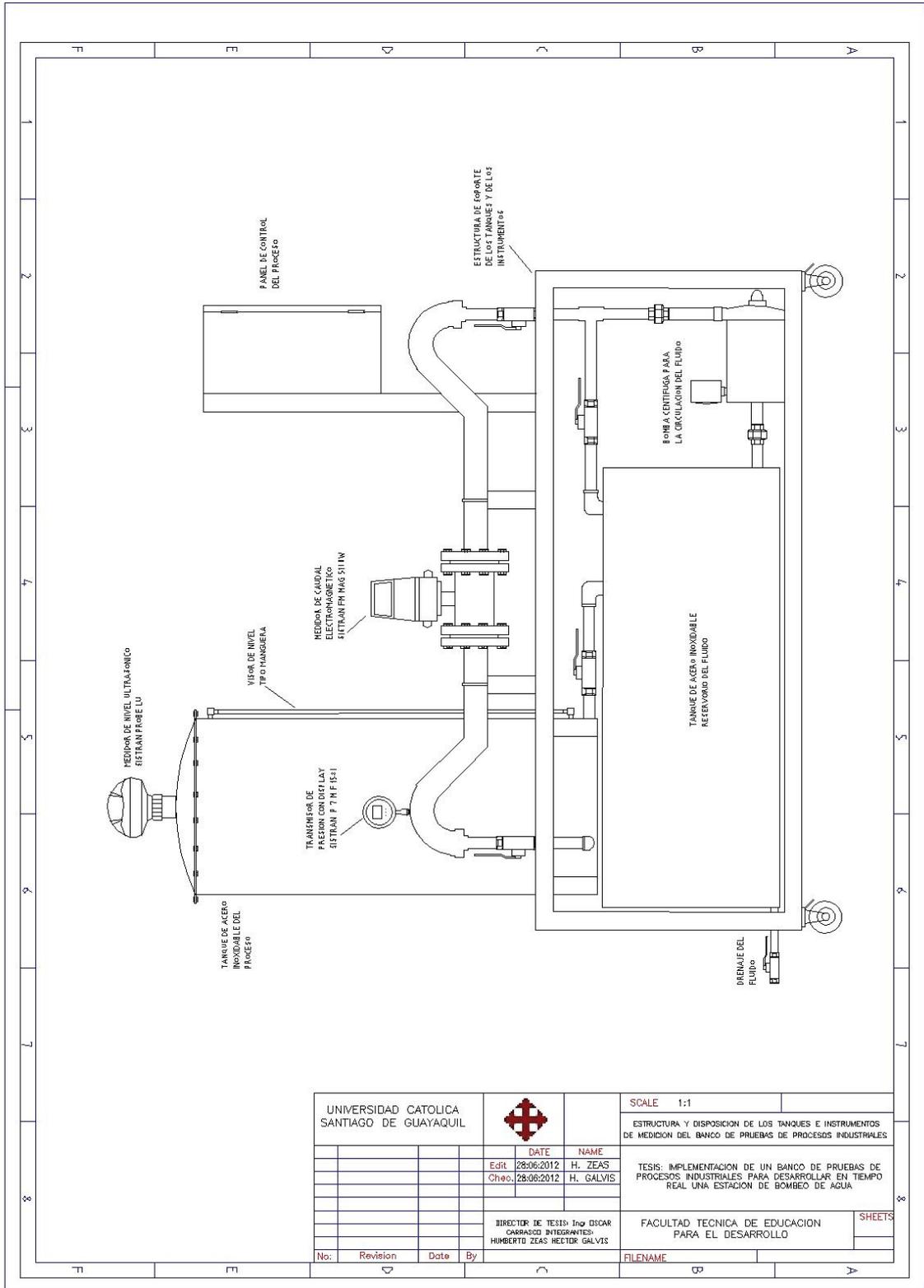


| | | | | |
|--|----------|---|-----------|---|
| UNIVERSIDAD CATOLICA SANTIAGO DE GUAYAQUIL | |  | SCALE 1:1 | TUBERIA DEL PROCESO |
| | | | | |
| | | DATE | NAME | TESIS: IMPLEMENTACION DE UN BANCO DE PRUEBAS DE PROCESOS INDUSTRIALES PARA DESARROLLAR EN TIEMPO REAL UNA ESTACION DE BOMBEO DE AGUA. |
| | | Edit 28.06.2012 | H. ZEAS | |
| | | Cheo. 28.06.2012 | H. GALVIS | |
| | | DIRECTOR DE TESIS: Ing OSCAR CARRASCO INTEGRANTES: HUMBERTO ZEAS HECTOR GALVIS | | FACULTAD TECNICA DE EDUCACION PARA EL DESARROLLO |
| No. | Revision | Date | By | FILENAME |
| | | | | SHEETS |

ANEXO 7: ESTRUCTURA METALICA

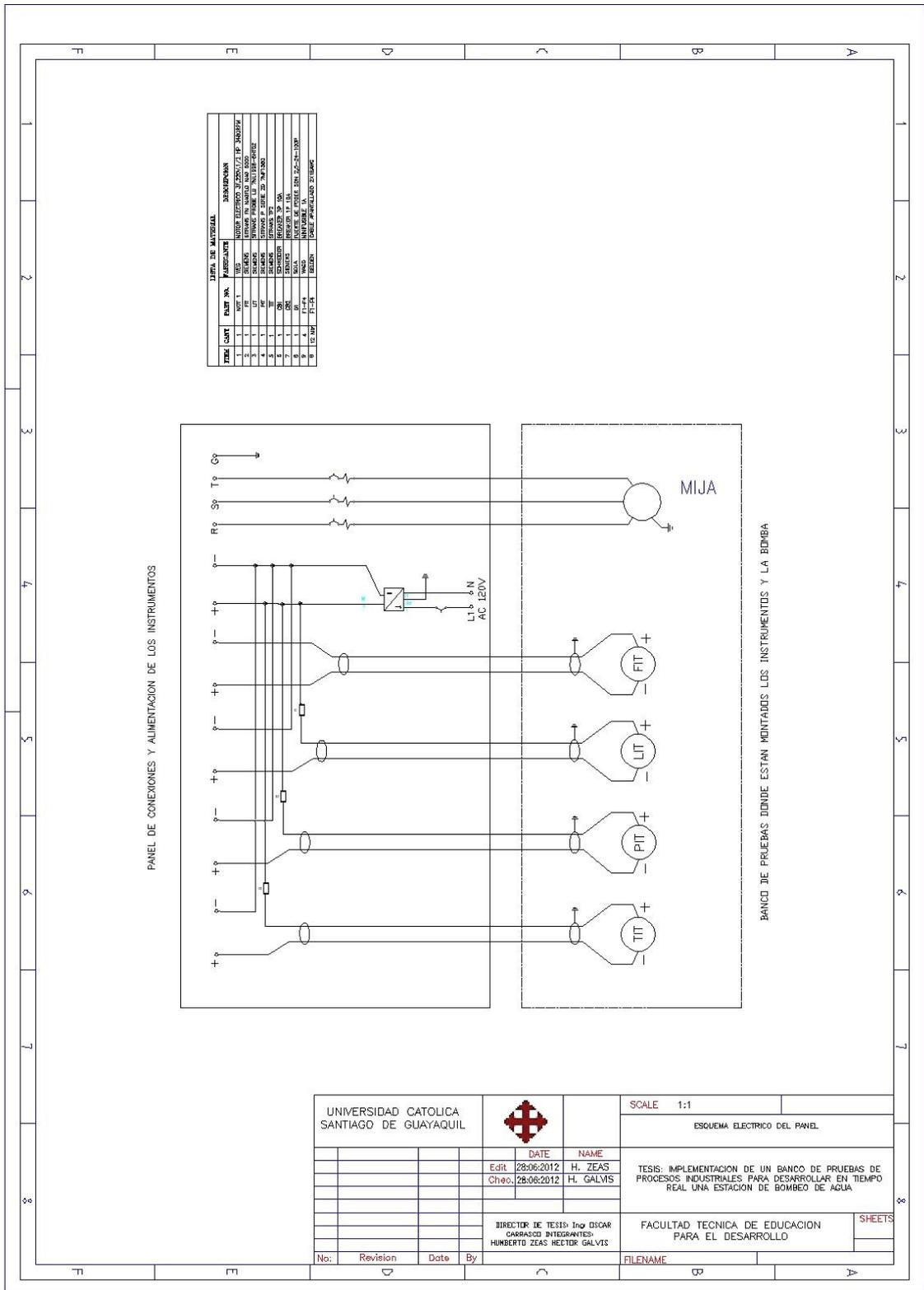


ANEXO 9: ESTRUCTURA Y DISPOSICION DE LOS TANQUES

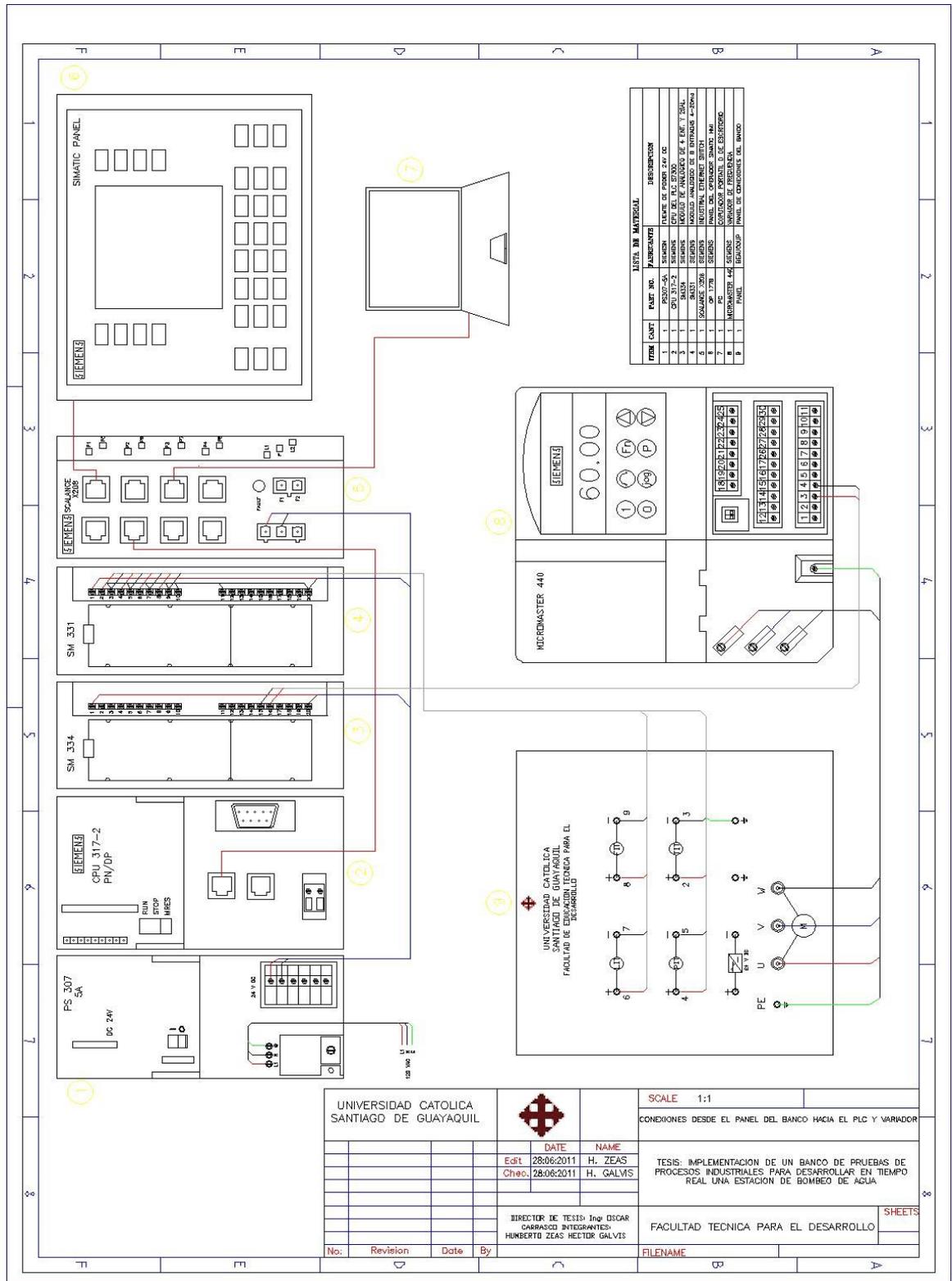


| | | | | | |
|--|----------|------------------|-----------|---|---|
| UNIVERSIDAD CATOLICA SANTIAGO DE GUAYAQUIL | | | |  | SCALE 1:1 |
| ESTRUCTURA Y DISPOSICION DE LOS TANQUES E INSTRUMENTOS DE MEDICION DEL BANCO DE PRUEBAS DE PROCESOS INDUSTRIALES | | | | | |
| | | DATE | NAME | | TESIS: IMPLEMENTACION DE UN BANCO DE PRUEBAS DE PROCESOS INDUSTRIALES PARA DESARROLLAR EN TIEMPO REAL UNA ESTACION DE BOMBEO DE AGUA. |
| | | Edit: 28.06.2012 | H. ZEAS | | |
| | | Cheo: 28.06.2012 | H. GALVIS | | |
| DIRECTOR DE TESIS: Ing OSCAR CARRASCO INTEGRANTES: HUMBERTO ZEAS MEDTOR GALVIS | | | | | FACULTAD TECNICA DE EDUCACION PARA EL DESARROLLO |
| No. | Revision | Date | By | | |
| | | | | | SHEETS |
| | | | | | FILENAME |

ANEXO 10: ESQUEMA ELECTRICO DEL PANEL



ANEXO 11: CONEXIONES DESDE EL PANEL HACIA EL PLC



REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA

Calvo, F.S.(s.f.). <http://ingenieros.es>. Obtenido de http://ingenieros.es/files/proyectos/variadores_de_frecuencia.pdf.

Dècimo Tercer Encuentro Regional Iberoamericano de Cigrè. (24 de 05 de 2009). <http://www.labplan.ufsc.br/>. Obtenido de <http://www.labplan.ufsc.br/congressos/XIII%20Eriac/C2/C2-01.pdf>

Granollers, P. P. (06 de 04 de 2009). <http://www.epsevg.upc.edu>. Obtenido de <http://www.epsevg.upc.edu/hcd/material/lecturas/interfaz.pdf>

Koutoudjian, I.J.(s.f.). <http://www.fi.uba.ar/>. Obtenido de http://www.fi.uba.ar/archivos/Estaciones_de_Bombeo

Rodríguez Penin, A. (2008). *Sistemas SCADA (2a. ed.)*. Mexico: Marcombo .

Ruiz, O. X. (2007). *Diseño e implementación de un banco de prueba para arranques de motores trifásicos*. Ambato: Universidad Técnica de Ambato.

Antonio Creus Solè, A. C. (1997). *Instrumentación Industrial*. Bogota: Alfaomega Marcombo.

Vargas, x. o. (2011). *Dotación y aplicación de un módulo con variador de velocidad para simulación de control de arranque y velocidad del motor de una grúa para el laboratorio de control industrial*. riobamba: escuela superior politecnica del chimborazo.