

**Universidad Católica de Santa María**  
**Facultad de Ciencias e Ingenierías Físicas y**  
**Formales**  
**Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica, Mecánica**  
**Eléctrica y Mecatrónica**



**“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN MÓDULO DE CONTROL DE NIVEL DE LÍQUIDO USANDO UN VARIADOR DE VELOCIDAD SINAMICS V20 Y ARDUINO PARA LA ADQUISICIÓN DE SEÑALES MEDIANTE COMUNICACIÓN MODBUS RTU Y TCP”**

Tesis presentada por los bachilleres:  
**Loayza Rodríguez, Jonathan Paris**  
**Mendiola Villanueva, Gino Alfredo**  
Para optar el Título Profesional de:  
**Ingeniero Mecatrónico**

**Asesor:**  
Ing. Mestas Ramos, Sergio

**Arequipa - Perú**  
**2020**

UCSM-ERP

**UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA**  
**INGENIERIA MECANICA, MECANICA-ELECTRICA Y MECATRONICA**  
**DICTAMEN APROBACIÓN DE BORRADOR DE TESIS**

Arequipa, 27 de Agosto del 2020

**Dictamen: 001127-C-EPIMMEM-2020**

Visto el borrador de tesis del expediente 001127, presentado por:

**2010100461 - LOAYZA RODRIGUEZ JONATHAN PARIS**

Titulado:

**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN MÓDULO DE CONTROL DE NIVEL DE LÍQUIDO USANDO UN  
VARIADOR DE VELOCIDAD SINAMICS V20 Y ARDUINO PARA LA ADQUISICIÓN DE SEÑALES  
MEDIANTE COMUNICACIÓN MODBUS RTU Y TCP.**

Nuestro dictamen es:

**APROBADO**

**1936 - MESTAS RAMOS SERGIO ORLANDO  
DICTAMINADOR**



**2213 - QUISPE CCACHUCO MARCELO JAIME  
DICTAMINADOR**



## AGRADECIMIENTO

Le agradezco a Dios, por ser el inspirador y darme fuerzas para continuar en este proceso de obtener uno de los anhelos más deseados y por su compañía y protección durante mi desarrollo personal y profesional.

Y a mis padres, por su amor, trabajo y sacrificio en todos estos años, gracias a ustedes he logrado llegar hasta aquí y convertirme en lo que soy. Es un orgullo y privilegio ser su hijo.

*Jonathan Loayza Rodríguez*

Gracias a Dios, a mi madre por ser el principal motor de mis sueños, por cada día confiar en mí y en mis expectativas, por estar dispuestas a acompañarme cada larga y agotadora jornada de estudio, gracias por cada consejo y cada una de sus palabras que guiaron cada paso en mi vida. No ha sido sencillo el camino hasta ahora, pero gracias a su aliento constante, amor, bondad y apoyo lo complicado de esta meta se ha notado menos y hoy es una realidad.

Gracias a la vida por este nuevo triunfo y a todas las personas que me apoyaron y creyeron en la realización de este proyecto.

*Gino Alfredo Mendiola Villanueva*

## RESUMEN

En la industria actual, la adquisición de señales eléctricas, la comunicación de estas usando estándares de comunicación industrial y su uso para realizar sistemas de control automático son herramientas presentes en todas las industrias de la automatización y control, orientadas a satisfacer los requerimientos de la industria moderna.

El presente trabajo buscó una estrategia de control óptima para un sistema de suministro de agua utilizando un variador de velocidad Sinamics V20 conectado al motor de una bomba centrífuga. El control del sistema está a cargo del PLC Siemens S7 – 1200.

El sistema consta de un tanque de suministro para agua de altura  $H(t)$ , el nivel del tanque se mide con un sensor ultrasónico que entrega el valor real del nivel en el reservorio.

La comunicación entre el PLC y el variador se hizo mediante el protocolo MODBUS RTU, así mismo, la señal de nivel será procesada por un microcontrolador Arduino y este a su vez se comunica con el PLC a través del protocolo de comunicación MODBUS TCP, siendo en ambos casos el PLC el maestro y el variador y el controlador Arduino esclavos.

Adicionalmente, se desarrolló un HMI que permite el monitoreo en tiempo real de los parámetros del sistema, así como el cambio de la consigna y creación de ventanas de iteración amigables para el monitoreo del módulo.

Para poder encontrar la mejor estrategia de control, se realizaron pruebas experimentales en el módulo, obteniendo repuestas óptimas tanto para cambios en la referencia de tipo escalón como a perturbaciones dentro del sistema.

**Palabras Claves:** Control de nivel de agua, MODBUS, RTU, TCP, variador de velocidad, Arduino, PLC.



## ABSTRAC

In currently industry, the acquisition of electrical signals, their communication using industrial communication standards and their use to make automatic control systems are tools present in all automation and control industries, aimed at satisfying the requirements of the industry modern.

The present work sought an optimal control strategy for a water supply system using a Sinamics V20 variable speed drive connected to the motor of a centrifugal pump. The control of the system is in charge of the PLC Siemens S7 - 1200.

The system consists of a supply tank for water of height  $H(t)$ , the level of the tank is measured with an ultrasonic sensor that gives the real value of the level in the reservoir.

The communication between the PLC and the drive was made through the MODBUS RTU protocol, likewise, the level signal will be processed by an Arduino microcontroller and this in turn will communicate with the PLC through the MODBUS TCP communication protocol, being in both cases the PLC the master and the inverter and the Arduino controller, the slaves.

Additionally, an HMI was developed that allows real-time monitoring of the system parameters, as well as the change of the setpoint and the creation of friendly iteration windows for the monitoring of the module.

In order to find the best control strategy, experimental tests were carried out in the module, obtaining optimal responses both for changes in the step type reference and for disturbances within the system.

**Keywords:** Water level control, MODBUS, RTU, TCP, variable speed drive, Arduino, PLC.

## INDICE GENERAL

AGRADECIMIENTO .....	iii
RESUMEN .....	iv
ABSTRAC .....	v
INDICE GENERAL .....	vi
INDICE DE TABLAS .....	x
INDICE DE FIGURAS.....	xi
CAPITULO I. PLANTEAMIENTO TEÓRICO .....	1
1.1.    Título .....	1
1.2.    Introducción.....	1
1.3.    Descripción del Problema.....	2
1.4.    Antecedentes.....	3
1.5.    Objetivos.....	4
1.5.1.  Objetivo general .....	4
1.5.2.  Objetivo específico.....	4
1.6.    Hipótesis .....	5
1.7.    Límites de la Investigación.....	6
CAPITULO II. MARCO TEÓRICO .....	7
2.1.  La Automática.....	7

2.2.	Sistemas de Control Automático .....	8
2.2.1.	Controlador lógico programable .....	11
2.3.	<i>Redes y comunicaciones industriales</i> .....	15
2.3.1.	Modbus.....	16
2.4.	Sensores y Transductores .....	19
2.4.1.	Sensores de caudal .....	20
2.4.2.	Medidores volumétricos.....	20
2.4.3.	Sensores de Nivel.....	21
2.5.	Bombas Hidráulicas.....	23
2.5.1.	Clasificación de Bombas Hidráulicas .....	23
2.5.2.	Criterios de selección de una bomba centrífuga.....	36
2.5.3.	Cálculo de consumo de agua en la descarga de un recipiente.....	43
2.5.4.	Sistemas de bombeo.....	47
2.6.	Motores de Corriente Alterna Trifásico.....	62
2.6.1.	Introducción del motor trifásico.....	62
2.6.2.	Características del motor trifásico.....	65
2.7.	Variadores de Velocidad AC.....	69
2.7.1.	Fundamentos .....	69
2.7.2.	Etapa de Potencia .....	70
2.7.3.	Etapa de control .....	77



CAPITULO III. DISEÑO DEL MÓDULO DE CONTROL.....	82
3.1. Diseño del Módulo .....	82
3.1.1. Diseño mecánico .....	82
3.1.2. Diseño eléctrico - electrónico.....	102
3.1.3. Diseño Sistema de Control.....	116
CAPITULO IV: IMPLEMENTACIÓN DEL MÓDULO DE CONTROL.....	118
4.1. Construcción del Módulo .....	118
4.2. Programación del PLC S7-1200 .....	122
4.3. Programación del Variador de Velocidad.....	124
4.4. Configuración Comunicación Maestro Esclavo .....	126
4.4.1. Comunicación PLC – Variador.....	126
4.4.2. Pruebas de funcionamiento de sensor de nivel .....	129
4.4.3. Comunicación PLC – sensores .....	132
4.5. Desarrollo del algoritmo de control .....	136
4.6. Sintonización del PID de Control .....	140
4.7. Desarrollo de la Interfaz Hombre – Máquina Hmi .....	142
CAPITULO V. PRUEBAS Y RESULTADOS FINALES.....	149
5.1. Prueba de Comunicación Modbus TCP.....	149
5.2. Pruebas de Comunicación Modbus RTU .....	150
5.3. Pruebas de Comunicación del Computador - PLC – Arduino.....	151



5.4.	Pruebas Manuales del Sistema .....	152
5.4.1.	Variación de frecuencia del variador: .....	152
5.4.2.	Activación de parada de emergencia.....	154
5.4.3.	Activación del nivel máximo del tanque de descarga.....	155
5.5.	Pruebas Control Automático .....	155
CAPITULO VI. PRESUPUESTO DEL MÓDULO DE CONTROL .....		158
6.1.	Presupuesto de dispositivos eléctricos.....	158
6.2.	Presupuesto de componentes hidráulicos .....	159
6.3.	Presupuesto de estructura del módulo .....	160
6.4.	Presupuesto de servicios adicionales.....	160
6.5.	Resumen del presupuesto total .....	161
CONCLUSIONES .....		162
RECOMENDACIONES.....		164
REFERENCIAS.....		165
ANEXOS .....		168

## INDICE DE TABLAS

Tabla 1: Coeficiente de Descarga por Biltron.....	45
Tabla 2: Coeficiente de descarga por Judd y King .....	46
Tabla 3: Coeficiente de descarga por Medaugh y Jonhson.....	46
Tabla 4: Valores de “k” para cálculos de pérdidas locales .....	55
Tabla 5: Listado de Materiales de la línea de conducción por Bombeo .....	86
Tabla 6: Coeficiente de pérdidas para válvulas abiertas, codos y “T”.....	87
Tabla 7: Factores “K” para accesorios.....	88
Tabla 8: Factor “K” para uniones Universales .....	89
Tabla 9: Factor “K” en reducciones.....	90
Tabla 10: Pérdida total en accesorios.....	91
<i>Tabla 11:</i> Valores para construcción de la curva del Sistema.....	93
Tabla 12: Características principales del Agua.....	97
Tabla 13: Materiales de Fabricación para Tuberías.....	101
Tabla 14: Características PLC S7 - 1200.....	112
Tabla 15: Características Módulo de comunicación CB 1241 – RS 485.....	114
Tabla 16: Especificaciones técnicas Sensor HC - SR04.....	129
Tabla 17: Especificaciones Técnicas Sensor Infrarojo SHARP GP2Y0A21 .....	130
Tabla 18: Presupuesto de dispositivos electrónicos.....	158
<i>Tabla 19:</i> Presupuesto de dispositivos hidráulicos.....	159
<i>Tabla 20:</i> Presupuesto de estructura del módulo.....	160
<i>Tabla 21:</i> Presupuesto de servicios adicionales.....	160
<i>Tabla 22:</i> Presupuesto de servicios adicionales.....	161

## INDICE DE FIGURAS

Figura 1: Flujo de señales en un sistema, .....	8
Figura 2: Control Proporcional + integral + derivado .....	12
Figura 3: Respuesta de un Sistema a la acción Proporcional.....	13
Figura 4: Respuesta de un Sistema a la acción Derivativa .....	14
Figura 5: Respuesta de un Sistema a la acción Integral.....	14
Figura 6: Instalación sin y con buses de campo.....	17
Figura 7: <i>P vs V de un proceso de bombeo de una bomba de desplazamiento positivo</i> .....	24
Figura 8: <i>Gráfica H vs Q Ideal de una bomba de desplazamiento positivo</i> .....	25
Figura 9: <i>Gráfica H vs Q Real de una bomba de desplazamiento positivo.</i> .....	25
Figura 10: Gráfica H vs Q Ideal de una bomba centrífuga .....	26
Figura 11. Gráfica H vs Q Real de una bomba centrífuga.....	27
Figura 12. Curvas H vs Q de una bomba centrífuga.....	28
Figura 13: Curva H vs Q Estable .....	29
Figura 14: Curva H vs Q Inestable .....	30
<i>Figura 15: Curva de Eficiencia de una bomba centrífuga.....</i>	<i>31</i>
Figura 16: Curvas de Potencia vs caudal en función de la velocidad RPM de la bomba....	31
Figura 17: Gráfica NPSH Requerida de una bomba centrífuga.....	32
Figura 18: Efectos de las velocidades de la bomba en la curva H - Q.....	34
Figura 19: Gráficas de desempeño de una bomba centrífuga .....	35
Figura 20: Zonas de trabajo bomba centrífuga gráfica H-Q.....	36



Figura 21: Efecto de la suciedad en NPSH disponible y flujo máximo de la bomba .....	38
Figura 22: Altura mínima de succión.....	38
Figura 23: Variación de curvas del sistema con válvula de regulación.....	40
Figura 24: Descarga de un recipiente a través de un orificio.....	43
Figura 25: Diagrama de Moody .....	52
Figura 26: Línea de conducción por Gravedad.....	56
Figura 27: Arreglo típico de instalación de bombeo.....	57
Figura 28: Partes de un motor DC .....	63
Figura 29: Dirección de rotación del campo magnético en motor trifásico.....	64
Figura 30: Giro de un motor trifásico. ....	65
Figura 31: Circuito equivalente de un motor jaula de ardilla. ....	66
Figura 32: Características de Torque y corriente vs. Velocidad en un motor de inducción. .....	68
Figura 33: Características de Torque vs. Frecuencia en control de V/F constante.....	70
Figura 34: Ondas de voltaje y corriente de los tipos de Variadores AC.....	72
Figura 35: Símbolo del IGBT y Diodo dámper. ....	74
Figura 36: Símbolo del IGBT y Diodo dámper. ....	75
Figura 37: Voltaje vs. Tiempo del Seno-PWM. ....	76
Figura 38: Corrientes de flujo y torque.....	77
Figura 39: Regulador V/F. ....	79
Figura 40: Regulador sensorless vector. ....	81
Figura 41: Principales componentes del módulo de control.....	83
Figura 42: Cálculo altura estática del sistema.....	84



Figura 43: Sub-Sistema sistema de bombeo .....	85
Figura 44: Curva del Sistema.....	94
Figura 45: Cálculo de facto de fricción “f” para perdidas primarias .....	96
Figura 46: Tanque de polietileno .....	99
Figura 47: Composición Química Acero galvanizado A – 53 Tipo S .....	102
Figura 48: Características mecánicas.....	102
Figura 49: Sensor de caudal YF – DN50 .....	103
Figura 50: Sensor ultrasonido JSN-SR04 .....	104
Figura 51: Interruptor flotador o boya de nivel .....	106
Figura 52: Válvula solenoide de baja presión.....	107
Figura 53: Arduino mega.....	110
Figura 54: Shield Ethernet para Arduino .....	111
Figura 55: PLC S7 – 1200 .....	113
Figura 56: Módulo de comunicación CB1241.....	114
Figura 57: Variador de velocidad SINAMIC V20.....	115
Figura 58: Representación sistema de comunicación de los diferentes equipos .....	116
Figura 59: Red ETHERNET del sistema.....	116
Figura 60: Esquemático del módulo de control de agua.....	118
Figura 61: Tanque de succión.....	119
Figura 62: Construcción del Tablero eléctrico.....	120
Figura 63: Módulo de control de Nivel.....	121
Figura 64: Conexionado alimentación PLC S7 - 1200 .....	122
Figura 65: Configuración de IP del PLC .....	122

Figura 66: Configuración del CPU, entradas y salidas digitales y analógicas del PLC: ...	123
Figura 67: Descarga del programa en el PLC .....	124
Figura 68: Interface Hombre - Máquina Variador Sinamic V20 .....	124
Figura 69: Configuración de tarjeta de comunicación software TIA PORTAL .....	127
Figura 70: Creación bloque de funciones comunicación PLC – Variador .....	128
Figura 71: Bloque de comunicación .....	128
Figura 72: Configuración Maestro – Esclavo .....	129
Figura 73: Sensor HC - SR04 .....	130
Figura 74: Sensor Infrarojo SHARP GP2Y0A21 .....	131
Figura 74: Especificaciones Técnicas Sensor Ultrasonido JSN- SR04T .....	131
Figura 76: Sensor Ultrasonido JSN – SR04T .....	132
Figura 77: SubRed de Comunicación PLC – Arduino- PC .....	133
Figura 78: Prueba de Comunicación Fallida con Modbus Poll .....	134
Figura 79: Análisis de Paquetes de Datos de Modbus en Software Wireshark .....	134
Figura 80: Prueba de Comunicación Exitosa con Modbus Poll .....	135
Figura 81: Prueba de envío de señal de Arduino a PLC .....	135
Figura 82: Regulador PIDT1 .....	137
Figura 83: Diagrama de bloques simplificado del sistema de control .....	138
Figura 84: Diagrama de bloques detallado del sistema de control .....	139
Figura 85: Bloque PID_Compact en TIA Portal .....	140
Figura 86: Método de Oscilación de Ziegler-nichols .....	141
Figura 87: Parámetros PID finales .....	141
Figura 88: Configuración de comunicación S7 TCP de Movicon .....	143

Figura 89: Sinóptico de la carátula del HMI.....	143
Figura 90: Pantalla principal del HMI .....	144
Figura 91: Sección de visualización del sistema de control de nivel.....	145
Figura 92: Estados actuales del sistema disponibles.....	145
Figura 93: Opciones de las pantallas secundarias.....	145
Figura 94: Pantalla de tendencia de nivel. ....	146
Figura 95: Pantalla de Histórico de alarmas y eventos .....	146
Figura 96 Pantalla de inicio de sesión e indicador de “Login”.....	147
Figura 97: Pantalla de la opción “Habilitación de control manual”. ....	148
Figura 98: Pantalla de comunicación serial entre Arduino y computador”.....	149
Figura 99: Pantalla de Alarma por comunicación entre Drive y PLC. ....	150
Figura 100: Envío de paquetes de Comunicación TCP/IP entre PC y Arduino. ....	151
Figura 101: Envío de paquetes de Comunicación TCP/IP entre PC y PLC. ....	151
Figura 102: Pantalla de control manual desde el HMI .....	152
Figura 103: Variación del nivel de líquido en función de la frecuencia.....	153
Figura 104: Indicación de “Bomba encendida” .....	153
Figura 105: Activación de parada de Emergencia .....	154
Figura 106: Indicación de “bomba Apagada”.....	154
Figura 107: Alarma en HMI por nivel Alto .....	155
Figura 108: Prueba 1 Sistema de Control .....	156
Figura 109: Prueba 2 Sistema de Control .....	156
Figura 110: Prueba 03 Sistema de Control .....	157
Figura 111: Prueba 04 con Perturbación Sistema de Control.....	157



## CAPITULO I. PLANTEAMIENTO TEÓRICO

### 1.1. Título

“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN MÓDULO DE CONTROL DE NIVEL DE LÍQUIDO USANDO UN VARIADOR DE VELOCIDAD SINAMICS V20 Y ARDUINO PARA LA ADQUISICIÓN DE SEÑALES MEDIANTE COMUNICACIÓN MODBUS RTU Y TCP”

### 1.2. Introducción

Con frecuencia dentro de un proceso industrial se cuenta con sistemas de tuberías, caudales, tanques pulmones, válvulas y todos relacionados unos con otros. Para estos procesos de producción que requieren del suministro de algún tipo de líquido como materia prima, es imprescindible la constante revisión y control de este, tal como, nivel y caudales que ingresa y salen dentro del sistema. Para lograr controlar un proceso es importante tratarlo como un sistema continuo en el tiempo, en el cual cada una de sus variables se interrelaciona en un todo.

El control de nivel de un líquido requiere de una serie de subsistemas, los cuales reciben y entregan señales que representan las variables del proceso, dichas señales son suministradas por sensores, ubicados en la entrada y la salida, con el fin de retroalimentar el sistema y conocer su evolución para tomar decisiones sobre como manipular las variables de control del sistema de manera óptima.

Todos los procesos industriales requieren de sistemas automáticos que permitan monitorear parámetros de operación, llevar tendencias, capacidad para arrancar o parar



sistemas, de respuesta rápida y de menor costo. Para ello, hacen uso de un controlador lógico programable (PLC) el cual, permite dentro de su configuración y/o programación el control de manera secuencial y cíclica. Este, asociado a un sistema de supervisión y adquisición de datos (SCADA) permitirá lograr los objetivos antes mencionados.

### **1.3. Descripción del Problema**

El proceso de control de nivel de un líquido en un depósito es indispensable en procesos de producción que requieren un líquido como materia prima, sistemas de monitoreo de nivel en canales, plantas de tratamiento de agua, controles de nivel de tanques de almacenamiento de agua, sistemas de control de embalses, tanques de lubricantes para sistemas mecánicos de transmisión de movimientos y par, etc. El objetivo es desarrollar métodos y utilizar instrumentos de medida de nivel de líquido, válvulas, sistemas de bombeo y sistemas de control para su monitorización y aplicación en un sistema real, desarrollando un controlador eficaz que interrelacione estos parámetros.

En la industria existen sistemas de control automático que monitorean este parámetro obteniendo buenos resultados, pero no resultando ser en su totalidad 100 % eficientes, con márgenes de error o tiempos de respuesta bastante amplios que pueden ser o no aceptados por la industria.

En ocasiones el control de nivel de un líquido es subestimado, sin embargo, mediciones incorrectas o inapropiadas puede ocasionar problemas de bombeo y dañar finalmente la bomba (nivel bajo), desde el otro lado niveles altos puede causar desborde y creen problemas potenciales de seguridad y ambientales. Niveles intermedios puede

ocasionar operaciones ineficientes y afectar a la contabilidad de materiales y pérdidas económicas importantes a la empresa.

La totalidad de eficiencia no se logra en mucho de los casos por factores externos tales como los sensores y/o actuadores seleccionados, pérdida o disminución de la calidad de la señal por el distanciamiento físico respecto de un controlador o RTUs, protocolos de comunicación poco robustos.

Es por ello, que el presente proyecto de investigación busca una óptima estrategia de control con márgenes de error mínimos, tiempo de respuesta cortos y con la selección adecuada de sensores y actuadores, además de establecer la comunicación con protocolos de comunicación robustos que garanticen el envío y recepción de todas las señales desde y hacia el controlador principal tales como el MODBUS.

En la actualidad los sensores de nivel de buenas prestaciones y tiempos de respuesta óptimos son de precios elevados, por ello se buscará un sistema de control óptimo usando sensores de un costo sustancialmente menor y que garanticen la misma calidad y precisión de un sensor industrial.

#### **1.4. Antecedentes**

Chacca, E., & Siles, F. (2012) en su tesis titulada “Diseño e implementación de un módulo de caudal controlado por PLC y Supervisión de proceso mediante SCADA”, desarrollaron un módulo de control de caudal a diferencia del actual proyecto que monitorea y controla el nivel de agua, además que en la tesis mencionada la comunicación con el sensor de caudal y con el variador es mediante señales analógicas

mientras que nosotros usamos protocolos de comunicación industrial MODBUS RTU y TCP.

Saavedra J.A., (2007), como referencia internacional, con la tesis “Control de presión de agua mediante variador de frecuencia y motobomba”, expone que en la industria existen sistemas de control de flujo de demanda variable que utilizan variadores de velocidad como su principal herramienta, pero a diferencia del presente proyecto, su variable de control es la presión dentro del sistema, este tipo de control es el más común, pero no siempre el más eficiente.

## **1.5. Objetivos**

### ***1.5.1. Objetivo general***

- Diseñar e implementar un módulo de control de nivel de agua para un sistema de suministro de agua variable, obteniendo respuestas con tiempos de establecimiento menores a 35 segundos, sobre-impulsos menores al 10% y sin errores de estado estacionario.

### ***1.5.2. Objetivo específico***

- Utilizar una estrategia de control del nivel de agua de un reservorio, con respuestas óptimas, la cual será determinada a partir de métodos empíricos y uso de software específicos.
- Realizar la programación del sistema de control en el PLC S7 – 1200 y la creación de una interfaz (HMI), que mostrara el estado de todas las variables del proceso en



tiempo real (nivel, frecuencia, entre otras) a partir de la adquisición de datos de los sensores y actuadores del sistema.

- Establecer la comunicación entre el PLC S7 – 1200 y el variador de velocidad Sinamics V20, utilizando el protocolo de comunicación industrial Modbus, basándonos en la arquitectura esclavo/maestro RTU, de tal manera que el PLC pueda tener un enviar y recibir la Palabra de control, palabra de estado y referencia de velocidad al y del variador de velocidad para garantizar un control y monitoreo en tiempo real del mismo.
- Establecer la comunicación entre el PLC S7 – 1200 y Arduino, a través de una placa de circuito modular (Shield) ethernet, para la adquisición de las señales de los sensores a través de la comunicación industrial Modbus TCP.

### **1.6. Hipótesis**

Dado que la lógica del sistema de control de nivel es un sistema de mayor complejidad debido a que muestra un comportamiento no lineal frente a un impulso y/o variación, es probable que para lograr el modelamiento y/o diseño del controlador se utilizarán también métodos empíricos dejando de lado los métodos tradicionales.

Así mismo, dado que se implementará protocolos de comunicación industrial entre esclavos y maestro, es probable que se puedan monitorear más señales de los esclavos que usando cableado para el envío y recepción de señales analógicas y digitales.



### 1.7. Límites de la Investigación

- El presente módulo tendrá la capacidad de controlar la velocidad de una bomba centrífuga a partir del uso de un variador de frecuencia industrial en configuración maestro – esclavo a través de la comunicación Modbus RTU, sin embargo, el módulo tendrá la capacidad de controlar mayor cantidad de motores a partir de la instalación de un módulo de comunicación y de un variador por cada motor adicional.
- La consigna de nivel se ingresará a través de la interfaz hombre máquina HMI, este HMI será utilizado desde un computador, de esta manera, instalando el software Movicon en otra computadora y copiando el proyecto HMI diseñado, podrá ser usado en cualquier computadora con los requerimientos mínimos para el funcionamiento del software Movicon. Además, esto permitirá que se pueda acceder al HMI a través de otra computadora, celular o Tablet a través de una VPN o softwares de acceso remoto.
- Se usará un microcontrolador Arduino y un sensor de nivel ultrasónico como un conjunto, simulando un sensor de nivel ultrasónico de grado industrial con protocolo de comunicación embebido, esto debido a que un sensor de estas prestaciones tiene un elevado costo.
- La comunicación entre el microcontrolador Arduino y el PLC será a través del protocolo de comunicación Modbus TCP, de esta manera, las señales de los sensores serán enviados al PLC.

## CAPITULO II. MARCO TEÓRICO

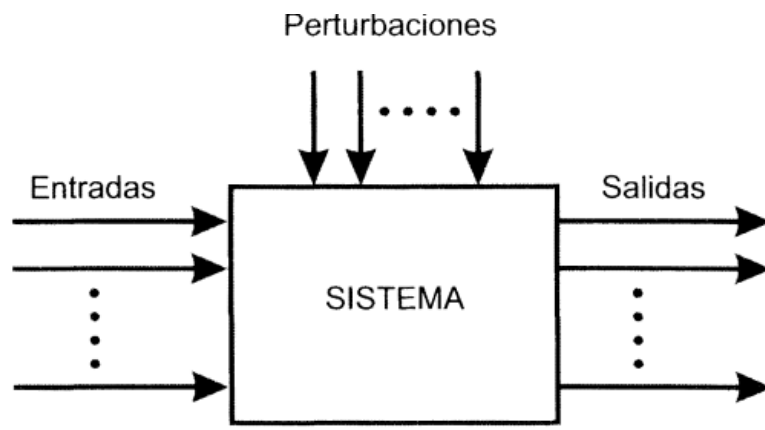
### 2.1. La Automática

Valdivia Miranda, C. (2012) definió a la automática como la ciencia que representa los procesos y métodos para la sustitución del ser humano por una equipo o máquina autónomo en la realización de una específica tarea con el objetivo de incrementar producción y disminuir riesgos.

Sintetizando, la automática estudia el comportamiento de los sistemas en un plano dinámico. Siendo un sistema una compleja colección de elementos íntimamente relacionados y que realiza un fin determinado. Desde el punto de vista de la ingeniería de automatización y control, un sistema puede verse como un ente que crea una transformación de señales. En conclusión, un sistema posee señales de entrada que pueden ser empleadas y señales de salida que pueden ser monitoreadas, estando estas últimas relacionadas con las entradas a través de la transformación del sistema, el cual es su objetivo. Además, existen perturbaciones que son estímulos externos o internos que no se pueden manipular y que afectan al sistema. Estas perturbaciones pueden ser de carácter aleatorio como el ruido o un carácter determinista como las interferencias.

**Figura 1:**

Flujo de señales en un sistema,



Fuente: Sistemas de control continuos y discretos, Carlos Valdivia Miranda, 2012 Ediciones Paraninfo, SA 1ª edición, 2012

Usando un lenguaje más técnico, se concluye que los sistemas de control tienen como finalidad que las señales de salida sean capaces de ser manipuladas o gobernadas por las instrucciones marcadas por las señales de entrada eficazmente, es decir, con independencia de los estímulos externos o internos o también llamados perturbaciones. Además, como se sabe, las señales no necesariamente son de naturaleza eléctrica. Pueden ser temperaturas, presiones, niveles, caudales, velocidades, fuerzas, deformaciones, etc. Sin embargo, basados en el procesamiento eléctrico de señales se emplean transductores para transformar señales de cualquier otra naturaleza al tipo eléctrico.

## 2.2. Sistemas de Control Automático

Son sistemas que facultan que los procesos se ejecuten bajo ciertas condiciones corrigiendo desviaciones o perturbaciones, a través de parámetros establecidos como



referencia y aplicando diversas acciones de regulación para alcanzar los requerimientos deseados y que se lleven a cabo sin la intervención del hombre.

Los elementos de un sistema de control son los siguientes:

- **Proceso:** Es el ente u objeto a regular, es decir donde se aplicarán los cambios deseados.
- **Variables:**
  - Variable controlada: Variable a mantener dentro de las condiciones requeridas.
  - Variable manipulada: Variable intencionalmente modificada para intervenir en la variable controlada.
  - Valor deseado: Valor de consigna al cual se llevará la variable controlada.
  - Variable de perturbación: variable que causa desviación entre la variable controlada y el valor deseado.
- **Instrumentos:**
  - Medidor: elemento a través del cual se monitorea o visualiza el comportamiento de las múltiples variables.
  - Controlador: Dispositivo que evalúa las condiciones para producir las acciones de control.
  - Actuador: Dispositivo o elemento que ejecuta la acción de control directa sobre el proceso.

**Ejemplo:**

Proceso: Tanque de agua

Variable controlada: Nivel de líquido

Variable manipulada: Caudal de la electrobomba o frecuencia del motor.

Valor deseado: Altura del líquido en el tanque.

Variable de perturbación: Caudal de salida de válvulas.

Medidor: Sensor de nivel

Actuador: Electrobomba y electroválvulas

Controlador: PLC S7-1200.

Se denominan procesos continuos a los procesos que se caracterizan por proporcionar a su salida un flujo continuo de un producto, ya sea líquido o sólido.

Estos de procesos se representan tanto por generar como por recibir en sus entradas variables analógicas. A los sistemas relacionados con estos procesos se les denominan sistemas de control de procesos y generalmente son de ciclo cerrado.

El sistema electrónico de control, también llamado regulador o controlador, puede usar internamente señales discretas o continuas.

Los controladores continuos o analógicos se usan cuando el proceso a controlar es sencillo, los controladores digitales programables son los más idóneos para procesos complejos, también llamadas plantas, en las que es necesario alterar la función que ejecutan tanto en la fase de diseño como a lo largo de su vida útil. Adicionalmente, existen diferentes algoritmos o estrategias cuyo objetivo es lograr que la variable del proceso tenga un valor independiente de los cambios que se originen en otras variables que actúan sobre la planta.

### 2.2.1. Controlador lógico programable

El controlador lógico programable o comúnmente llamado por sus siglas en inglés PLC, es un dispositivo flexible y capaz de controlar una gran gama de dispositivos para diferentes tareas de control y automatización en tiempo real y bajo un ambiente industrial. La Unidad central de procesos o CPU, cuenta con una unidad de control, memoria y dispositivos de entrada y salida.

Una vez creado y cargado el programa en la CPU, ésta contiene la lógica requerida para monitorear y controlar los dispositivos para una aplicación específica. La CPU monitorea las señales de entradas y modifica el estado de las señales de salidas según la lógica programada por el usuario, la cual puede incluir, pero no se limita en lógica booleana, instrucciones de temporización y conteo, funciones matemáticas avanzadas, así como comunicación entre dispositivos maestros y esclavos. Adicionalmente, se pueden emplear funciones de protección de contenido al acceso a la CPU y al programa de control desarrollado (protección de know-how).

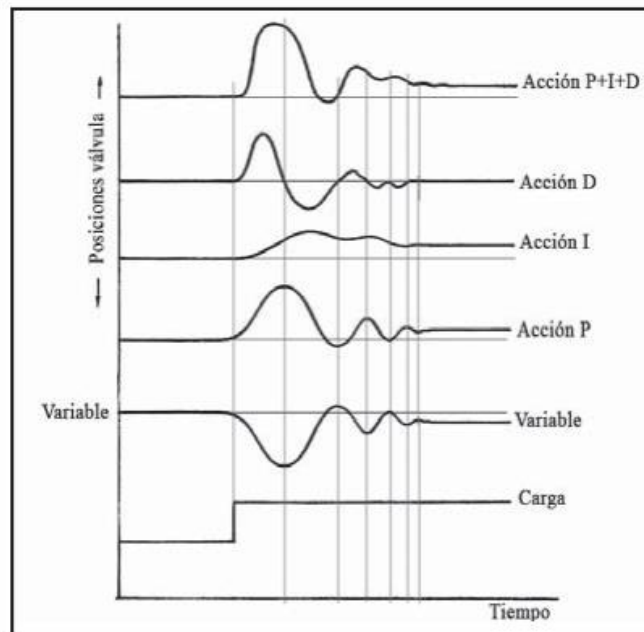
#### 2.2.1.1. Control PID

El tipo de control PID permite que un sistema de lazo o bucle cerrado consiga el estado de salida deseado o consigna a partir de 03 elementos, los cuales son  $k_p$  proporcional,  $k_d$  derivativo y  $k_i$  integral, cada uno de estos elementos forma parte fundamental del sistema de control:



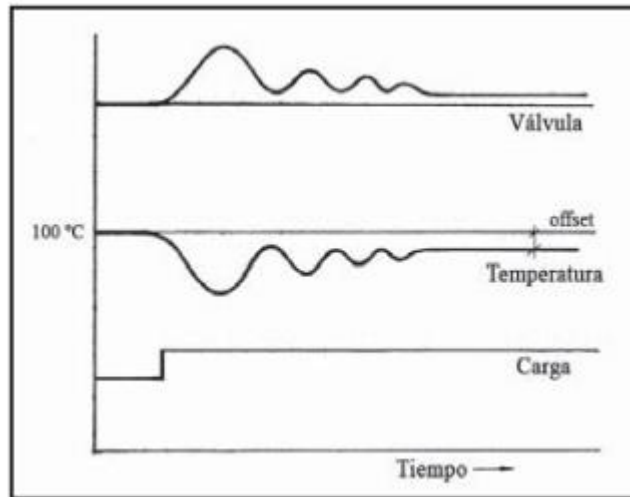
**Figura 2:**

*Control Proporcional + integral + derivado*



Fuente: Instrumentación Industrial, Antonio Creus, Alfaomega Grupo Editor, SA 8ª edición, (2010)

- Proporcional  $k_p$  : La acción proporcional multiplica la señal de error  $e(t)$  por la constante llamada  $k_p$ . Con el objetivo de minimizar el error del sistema y a través de esta variable se busca modular los tiempos de respuestas de acuerdo a los requerimientos del sistema, es decir, con ella podemos conseguir las salidas requeridas en un mayor o menos tiempo (no implica una salida sin error, para ello tenemos las variables ID), por su valor proporcional, cuando el error es grande, la acción de control también lo será.

**Figura 3:***Respuesta de un Sistema a la acción Proporcional*

Fuente: Instrumentación Industrial, Antonio Creus, Alfaomega Grupo Editor, SA 8ª edición, (2010)

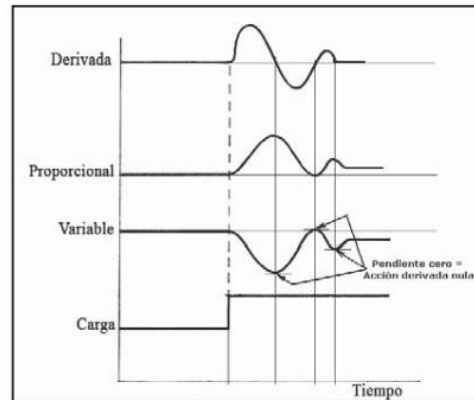
- Acción derivativa  $k_d$  : El principal problema de la acción proporcional es que, debido a la larga inercia intrínseca a esta acción, el sistema se pasará de largo cuando el sistema se mueve a una gran velocidad hacia la consigna. Causando sobreimpulsos y/u oscilaciones en torno a la consigna o referencia.

Por eso, es requerido que el mismo sistema pueda determinar a qué velocidad se acerca a la consigna para poderla frenar con anticipación y evitar que efectos de sobreimpulsos.

La constante derivativa estabiliza el sistema y disminuye su velocidad, mientras que el error permanece igual. La “derivada” del error es su velocidad.

**Figura 4:**

*Respuesta de un Sistema a la acción Derivativa*

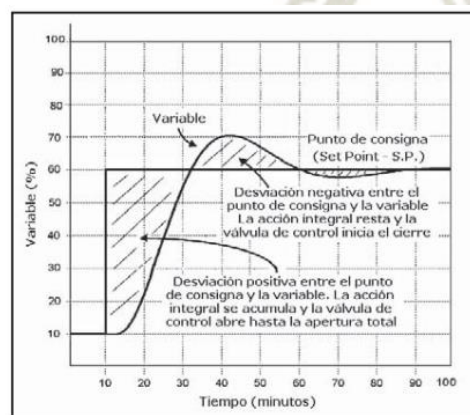


Fuente: Instrumentación Industrial, Antonio Creus, Alfaomega Grupo Editor, SA 8ª edición, 2010

- **Acción integral  $k_i$ :** La integral corresponde a la acumulación o sumatoria del error. Esta acción permite suprimir el error de estado estacionario. Su principal desventaja es que incrementa la inestabilidad del sistema y la velocidad del error. Por ello, es siempre recomendado usar la acción integral acompañada de la acción derivativo.

**Figura 5:**

*Respuesta de un Sistema a la acción Integral*



Fuente: Instrumentación Industrial, Antonio Creus, Alfaomega Grupo Editor, SA 8ª edición, 2010



### 2.3. *Redes y comunicaciones industriales*

Guerrero V., Yuste R. & Martínez L. (2010) consideran que, en la industria moderna, las comunicaciones de datos entre diferentes sistemas, procesos e instalaciones suponen uno de los pilares para que ésta se encuentre en un nivel de competitividad exigida en los procesos industriales actuales. En un sistema de comunicación de datos industrial es tanto más exigente cuanto más cerca del proceso nos encontramos.

Tradicionalmente, el cableado de equipos eléctricos se realizaba hilo a hilo. La normativa internacional de máquinas IEC 60 204-1 y las normas específicas de instalaciones (diferentes en cada país) definen con precisión secciones, aislantes y marcado de color. La mayoría de estas conexiones se realizan con unidades de cable flexible con una sección de  $1.5 - 2.5 \text{ mm}^2$  (AWG 16 y 14), protegidos en sendas extremidades.

Hasta hace una década, estas soluciones cubrían todos los requerimientos, tanto para señales digitales como para señales analógicas, requiriendo en muchos casos cables protegidos contra interferencias electromagnéticas.

Influenciadas por las tecnologías de la información y las normas de la industria automovilística, la llegada de la tecnología digital a otras industrias ha tenido un impacto considerable en el diseño y en la construcción de equipamiento eléctrico.

El intercambio de datos digitales impuso conexiones por redes de comunicación que implicaban el uso de conectores y conexiones prefabricadas. Esto simplifica muchísimo la construcción de equipamiento eléctrico dado que los errores de cableado son reducidos significativamente, así como las tareas de mantenimiento.

Luego de la invención del controlador lógico programable, las redes poco a poco fueron incluyéndose, inicialmente como enlaces de tipo serial. Desde hace algunos años, numerosas aplicaciones han acogido el bus de campo. Este pilar del automatismo es una potente herramienta de flexibilidad, intercambio y visibilidad en los dispositivos conectados a él. El bus de campo ha conducido gradualmente a una revisión de la arquitectura:

- Supresión del cableado de entradas/salidas.
- Supresión o descentralización de los interfaces de entradas/salidas.
- Descentralización y distribución de la inteligencia.
- Interconexión vía internet.

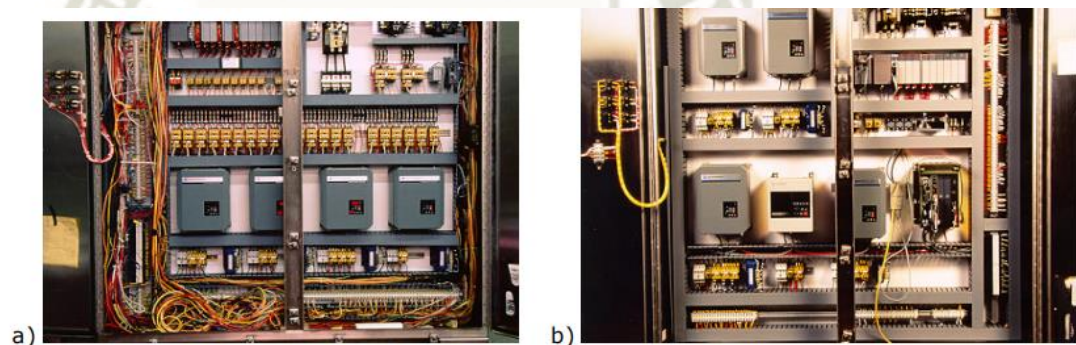
### **2.3.1. Modbus**

Rosado Muñoz, A (2009) define al estándar de comunicación MODBUS como uno de los protocolos más usados que apareció en 1979 para transmitir y recibir datos de control entre los controladores y los sensores a través del puerto RS-232 (comunicación punto a punto), con un alcance máximo de 350 metros. Opera mediante el sistema master/slave, y posee dos modos esenciales de funcionamiento, modo ASCII, enviando dos caracteres de 2 bytes para cada mensaje, con hasta 1 segundo de diferencia entre ellos, y modo RTU (Remote Terminal Unit), donde se envían 4 caracteres hexadecimales de 4 bits cada uno, para cada mensaje. La opción RTU es la más empleada. Existe la versión MODBUS plus que emplea el puerto RS485 para permitir hasta 32 nodos y cubrir distancias de hasta 1.5 kilómetros con la técnica de transmisión de paso de testigo. Se medio físico el par trenzado apantallado y la tensión de alimentación es independiente

para cada dispositivo. Se trata de un protocolo con limitaciones y donde sólo es recomendable usarlo en caso de instalaciones donde existan instalaciones de este tipo (para mantener compatibilidad). Actualmente se está impulsando el empleo de MODBUS sobre TCP/IP para aprovechar las infraestructuras que se están implantando para Internet, y usar protocolos industriales empleando las mismas líneas y empaquetando mensajes MODBUS dentro de los paquetes TCP/IP, de modo que son necesarios unos módulos de encapsulado y desencapsulado para conectar con módulos tradicionales MODBUS.

**Figura 6:**

*Instalación sin y con buses de campo.*



Fuente: Sistemas industriales distribuidos, Alfredo Rosado, Universidad de Valencia, 3º ITT-SE.

MODBUS se considera un protocolo de mensajería de capa de aplicación, que proporciona comunicación Maestro / Esclavo entre dispositivos conectados entre sí a través de redes o buses de campo. En el modelo OSI, MODBUS se posiciona en la capa 7 o de aplicación. MODBUS está destinado a ser un protocolo de solicitud / respuesta y entrega servicios especificados por códigos de función. Los códigos de función de MODBUS son elementos de las PDU de solicitud / respuesta de MODBUS (Unidad de datos de protocolo).



Para preparar la unidad de datos de la aplicación MODBUS, el cliente debe comenzar una transacción MODBUS. Es la función que anuncia al servidor sobre qué tipo de acción realizar. El formato de una solicitud iniciada por un maestro se establece mediante el protocolo de aplicación MODBUS. El campo de código de función se codifica en un byte. Solo los códigos dentro del rango de 1 a 255 se consideran válidos, y 128-255 se reservan para las respuestas de excepción. Cuando el maestro envía un mensaje al esclavo, es el campo de código de función el que informa al servidor qué tipo de acción realizar.

#### ***2.3.1.1. Propiedades del objeto de datos***

Los paquetes MODBUS RTU solo están destinados a enviar datos; no tienen la capacidad de enviar parámetros como nombre de punto, resolución, unidades, etc. Si se necesita la capacidad de enviar dichos parámetros, se debe usar un BACnet, EtherNet / IP u otros protocolos modernos.

#### ***2.3.1.2. Modbus RTU versus otros protocolos***

A pesar de las limitaciones de MODBUS RTU, todavía hay muchas buenas razones por las cuales todavía es un competidor entre otros protocolos de automatización industrial. Por un lado, MODBUS RTU es mucho más fácil de implementar que los protocolos más nuevos y es una fuerza dominante en el mercado. MODBUS RTU también requiere significativamente menos memoria. Para implementar MODBUS RTU, puede ajustar el tamaño necesario de 2Kb en una pequeña CPU de 8 bits o procesador PIC, mientras que con BACnet y EtherNet / IP, puede necesitar 30-100Kb de memoria.

### ***2.3.1.3. Requisitos de dirección Modbus RTU***

Las direcciones de nodos MODBUS RTU estándar son 1-254, con 0 reservado para mensajes de difusión y solo escritura. Sin embargo, la dirección 0 rara vez se utiliza debido al hecho de que no hay confirmación de que el mensaje se recibió correctamente en el nodo esclavo. Esto no tiene mucho efecto si su capa física es RS-232 ya que solo un nodo puede implementarse de todos modos. RS-485 limita el número de nodos a 32, aunque algunos controladores le permitirán extender la cantidad.

### ***2.3.1.4. La diferencia entre Modbus RTU y Modbus TCP***

La diferencia más básica entre MODBUS RTU y MODBUS TCP (también conocido como MODBUS IP, MODBUS EtherNet y MODBUS TCP / IP) es que MODBUS TCP se ejecuta en una capa física Ethernet y Modbus RTU es un protocolo de nivel serie. Modbus TCP también usa un encabezado de 6 bytes para permitir el enrutamiento.

## **2.4. Sensores y Transductores**

Creus, A. (2010) define a los sensores y transductores de la siguiente manera:

Los sensores perciben el valor de la variable de proceso y emiten una señal de salida predeterminada. El sensor puede ser parte de otro instrumento (por ejemplo, un transmisor) o bien puede ser dispositivos separados. También se le conoce como elemento primario o detector por estar en primer contacto con la variable, con lo que utiliza o absorbe energía del medio controlado para dar, al sistema de medición, una

respuesta a la variación de la variable. El efecto producido por el elemento primario puede ser un cambio posición, medida eléctrica, presión, fuerza, etc.

Por ejemplo: en los elementos primarios de temperatura de bulbo y capilar, el resultado es la variación de presión del fluido que los llena y en los de termopar el efecto es una variación de diferencial de voltaje.

Creus, A. (2010) define a los transductores como dispositivos que reciben una señal de entrada función de una o varias cantidades físicas y la convierten modificada o no a una señal de salida, es decir, convierten la energía de entrada de un tipo de energía de salida en otra forma. Son transductores, un relé, un elemento primario, un transmisor, un convertidor PP/I (presión de proceso a intensidad), un convertidor PP/P (presión de proceso a señal neumática), etc.

#### **2.4.1. Sensores de caudal**

Existen dos tipos de medidores, los volumétricos que determinan el caudal en volumen del fluido, y los de masa que determinan la caudal masa. Se reservan los medidores volumétricos para la medida general de caudal y se destinan los medidores de caudal másico a aquellas aplicaciones en las que la exactitud de la medida es importante.

#### **2.4.2. Medidores volumétricos**

Los medidores volumétricos determinan el caudal en volumen de fluido, bien sea directamente (desplazamiento), bien indirectamente por deducción o inferencia (presión diferencial, área variable, velocidad, fuerza, tensión inducida, torbellino). Es necesario señalar que la medida de caudal volumétrico en la industria se lleva a cabo



principalmente con elementos que dan lugar a una presión diferencial al paso del fluido. Entre estos elementos se encuentran la placa orificio o diafragma, la tobera, el tubo Venturi, el tubo Pitot y el tubo Annubar.

#### **2.4.2.1. Medidores de caudal de masa**

Si bien en la industria se utilizan normalmente medidores volumétricos de caudal, con el caudal determinado en las condiciones de servicio, en ocasiones interesa medir la caudal masa, sea inferencialmente por compensación de la presión, la temperatura o la densidad, o bien aprovechando características medibles de la masa con sistemas básicos de medida directa, los instrumentos térmicos, los de momento angular y los de Coriolis.

#### **2.4.3. Sensores 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 exactitudes en la lectura altas, del orden del  $\pm 0,2\%$ , 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.

Los instrumentos de nivel pueden dividirse en medidores de nivel de líquidos (los cuales, según nuestros requerimientos necesitan mayor atención) y de sólidos, que son dos mediciones claramente diferenciadas.

#### ***2.4.3.1. 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, bien aprovechando características eléctricas del líquido o bien utilizando otros fenómenos.

Los primeros instrumentos de medida directa se dividen en: sonda, cinta y plomada, nivel de cristal, nivel de flotador, magnético, palpador servoperado y magnetostrictivo. Los aparatos que miden el nivel aprovechando la presión hidrostática son:

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

El empuje producido por el propio líquido lo aprovecha el medidor de desplazamiento. Los instrumentos que utilizan las características eléctricas del líquido son:

- Medidor resistivo/conductivo
- Medidor capacitivo
- Medidor ultrasónico
- Medidor de radar o microondas

- Medidor de radiación
- Medidor de láser

Y los que se basan en otros fenómenos:

- Medidor óptico
- Vibratorio
- Detector de nivel térmico o de dispersión térmica

## 2.5. Bombas Hidráulicas

### 2.5.1. Clasificación de Bombas Hidráulicas

Existen muchas formas de clasificar a las bombas, entre las más comunes se tiene:

- Posición del eje: Verticales y Horizontales.
- Carcaza: Voluta y Difusor
- Modo de Operación: Desplazamiento positivo y Roto dinámicas
- Por el tipo de impulsor: Abierto, Semicerrado y Cerrado

Para el desarrollo del proyecto solo tocaremos las bombas según su modo de operación:

#### a. Bombas de desplazamiento positivo

El trabajo desarrollado por este tipo de bombas es a partir de la expansión y compresión de una cavidad, espacio y/o límite móvil dentro del cuerpo de la bomba.

A este tipo de transferencia de energía a los fluidos se le conoce como **hidrostática**.

El cuerpo al desplazarse (parte móvil de la bomba) reduciendo el espacio del trabajo del fluido y lo bombea hacia la tubería.



Por tal, el trabajo  $W_s$  viene siendo la multiplicación de la fuerza  $F$  de desplazamiento y su distancia  $S$ .

$$W_s = F * S$$

También pudiéndose expresar como el resultado de la presión  $p$  de elevación y  $V_s$  de cilindrada.

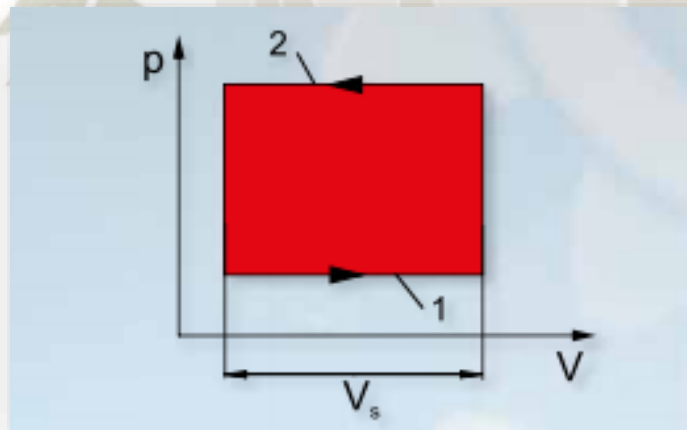
$$W_s = A * P * S = V_s * p$$

La potencia pasada al fluido se puede calcular con el caudal  $Q$  volumétrico y presión  $p$  de elevación.

$$P = Q * p$$

**Figura 7:**

*P vs V de un proceso de bombeo de una bomba de desplazamiento positivo*



Fuente: Máquinas Fluidomecánicas Hidráulicas – Bombas de desplazamiento positivo, Gunt Hamburg, (SF).

1 = Aspiración: Aumento el volumen a baja presión

2 = Desplazamiento: Se produce la reducción del volumen a alta presión.

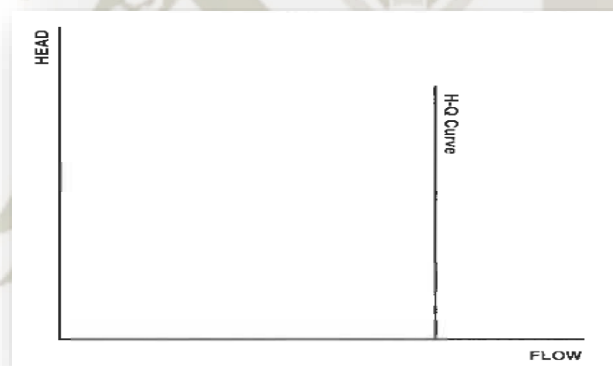
**Nota:** La superficie circunscrita corresponde al trabajo realizado en el fluido

De acuerdo a Bachus en el 2003 menciona que en el espacio disponible (volumen) en cualquier punto dentro de la bomba es constante, por tal, podemos decir que las bombas de desplazamiento positivo son consideradas en teoría de volumen constante con cada revolución o ciclo recíproco.

Curva característica de las bombas de desplazamiento positivo.

**Figura 8:**

*Gráfica H vs Q Ideal de una bomba de desplazamiento positivo*

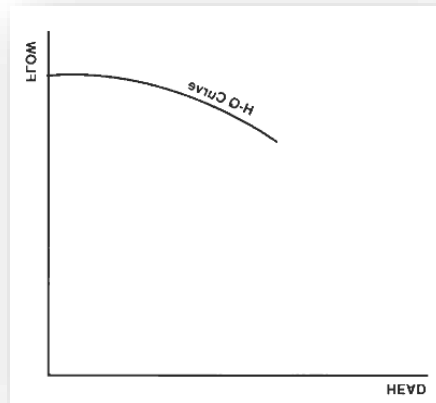


Fuente: Know and understand centrifugal Pumps, Larry bachus and Angel Custodio, (2003).

En la realidad siempre existen algún tipo pérdida mínima. Cuando se presenta aumentos de presión o resistencia al paso del fluido en un proceso de bombeo (Bachus,2003), la figura N°3 se ve altera, por lo cual una mejor representación de este tipo de bombas se muestra en la siguiente figura:

**Figura 9:**

*Gráfica H vs Q Real de una bomba de desplazamiento positivo.*



Fuente: Know and understand centrifugal Pumps, Larry bachus and Angel Custodio, (2003)

De preferencia podemos optar por este tipo de bombas sobre las centrifugas para ciertas aplicaciones:

- Líquidos viscosos.
- Mediciones precisas (dosificación, industria farmacéutica, Etc.).
- Sistemas de alta presión y con bajo flujo.

**b) Bombas centrífugas**

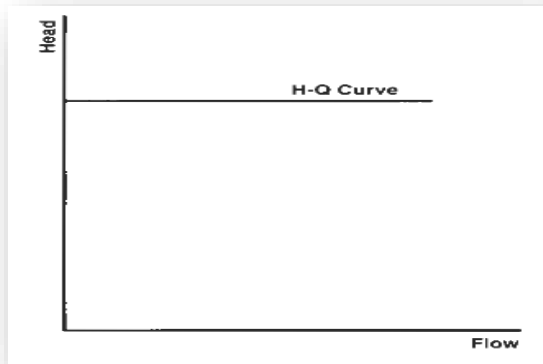
Las bombas centrífugas tiene la misma función que la de desplazamiento positivo, sin embargo, estas la cumplen de manera diferente. Las bombas generan presión por aceleración y desaceleración del líquido a través de ella. Ello debido a que el diámetro del impulsor y su velocidad del motor son en su gran mayoría constantes, esta clase de bomba se puede considerar como un dispositivo depresión o altura constante.

(Bachus,2003)

**Figura 10:**

*Gráfica H vs Q Ideal de una bomba centrífuga*



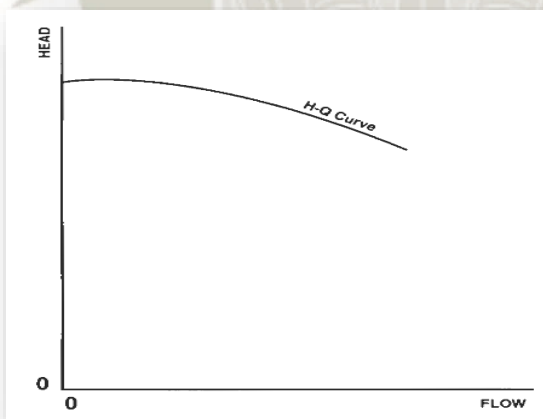


Fuente: Know and understand centrifugal Pumps, Larry bachus and Angel Custodio, (2003).

Al igual que las bombas de desplazamiento positivo, estas bombas pierden presión a medida que la energía se canaliza en el aumento del flujo y la velocidad, por tal:

### **Figura 11.**

*Gráfica H vs Q Real de una bomba centrífuga*



Fuente: Know and understand centrifugal Pumps, Larry bachus and Angel Custodio, (2003).

#### ***2.5.1.1. Curva característica de bombas centrífugas***

En el 2003, Bachus identificó que las propiedades hidráulicas de cualquier bomba centrífuga son estudiadas a partir de tomar la velocidad  $N$  del eje de la bomba constante.

Las curvas de rendimiento o también llamadas curvas características de las bombas centrífugas son cuatro, las cuales se encuentran relacionadas entre sí en un gráfico común. Estas cuatro curvas son las siguientes:

- Altura – Caudal conocida como la curva  $H - Q$ .
- Curva de Eficiencia
- Curva de energía y/o potencia.
- Curvas de NPSH requerido (curva neta de aspiración requerida)

Ciertos autores nombran a la curva NPSH como una curva de características suplementarias.

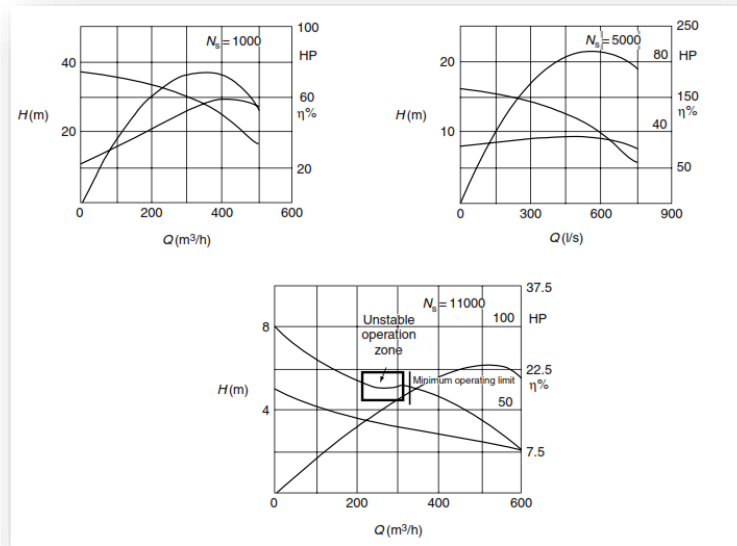
#### a) Curva $h-q$

En 2005, Paresh define la bomba es una maquina diseñada para agregar energía a un líquido con el propósito de trasladarlo de un lugar a otro a través de una tubería, la velocidad a la cual realiza esto, se le conoce como la capacidad de una bomba. Dicha capacidad disminuye a medida que se aumenta la presión en la descarga de la bomba.

La gráfica  $H-Q$  se representa en la siguiente figura:

#### **Figura 12.**

*Curvas  $H$  vs  $Q$  de una bomba centrífuga*



Fuente: Practical centrifugal Pumps – Design, operation and maintenance, Paresh Girdhar B. Eng and Octo Moniz CEng, MBA, (2005).

Existen 2 tipo de curvas H-Q:

- H-Q Estable
- H-Q Inestable

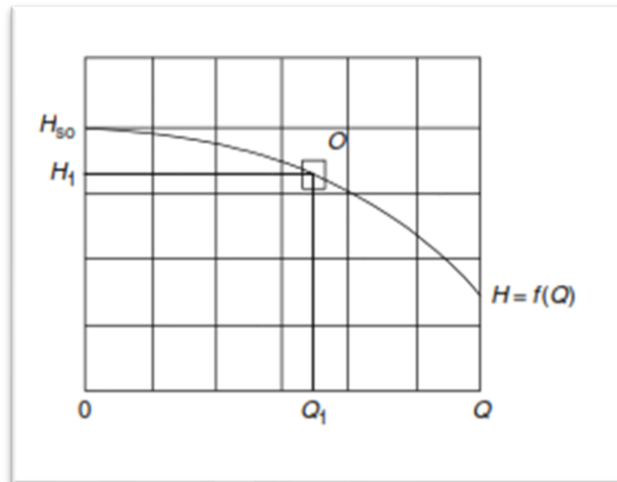
#### b) Curva h-q estable

Se caracteriza porque la carga hidráulica máxima está en el shut-off, a partir de allí, la carga disminuye progresivamente con el aumento del flujo (Paresh, 2005), tal como se muestra en la siguiente imagen:

**Figura 13:**

*Curva H vs Q Estable*





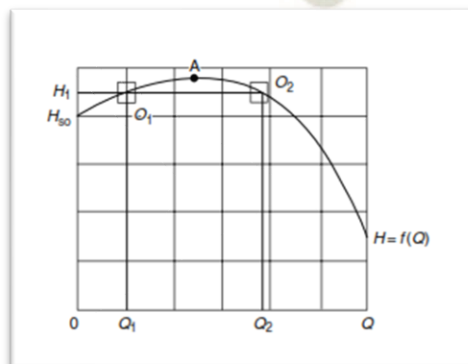
Fuente: Practical centrifugal Pumps – Design, operation and maintenance, Paresh Girdhar B. Eng and Octo Moniz CEng, MBA, (2005).

### c) Curva H-Q Inestable

Se caracteriza porque a partir del punto Shut-off la carga hidráulica incrementa hasta alcanzar un punto máximo A para posteriormente caer de manera progresiva. Lo cual, en una operación real producirá una oscilación entre ambos flujos generando modulación del caudal y posibles vibraciones en la tubería (Paresh,2005). Es una característica no deseada en las bombas centrífugas.

**Figura 14:**

*Curva H vs Q Inestable*



Fuente: Practical centrifugal Pumps – Design, operation and maintenance, Paresh Girdhar B. Eng and Octo Moniz CEng, MBA, (2005).

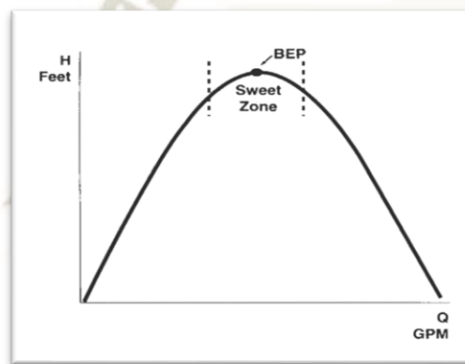
#### d) Curva de eficiencia

Paresh, en el 2005 nos dice que la curva de eficiencia inicialmente incrementa hasta alcanzar un punto máximo BEP (punto de máxima eficiencia) para posteriormente a medida que aumenta la velocidad del flujo (caudal) disminuye.

Como se observa en la siguiente imagen, la caída o disminución de eficiencia se da posterior al punto BEP y con el aumento de la velocidad del flujo.

#### *Figura 15:*

Curva de Eficiencia de una bomba centrífuga



Fuente: Know and understand centrifugal Pumps, Larry bachus and Angel Custodio, (2003).

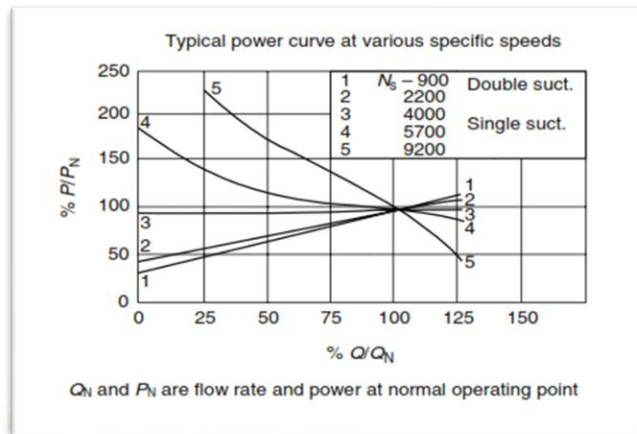
#### e) Curva de potencia

La forma de la curva de  $P$  VS  $Q$  está muy relacionada y depende de la velocidad específica de la bomba.

Paresh, en el 2005, de lo anteriormente indicado, por ejemplo, cuando se trabaja con bombas centrífugas con velocidad específicas bajas a medias la curva de potencia tiende a incrementarse. En cambio, para velocidad altas, la curva puede ser aproximadamente plana e incluso horizontal, tal como se muestra en la siguiente imagen:

**Figura 16:**

*Curvas de Potencia vs caudal en función de la velocidad RPM de la bomba*



Fuente: Practical centrifugal Pumps – Design, operation and maintenance, Paresh Girdhar B. Eng and Octo Moniz CEng, MBA, (2005).

De las curvas anteriores se desprende que existen 2 tipos de curva de P VS Q:

- Sin sobrecarga
- Con sobrecarga

Los términos son derivados en función de que la potencia de una bomba aumenta o disminuye con el aumento del flujo.

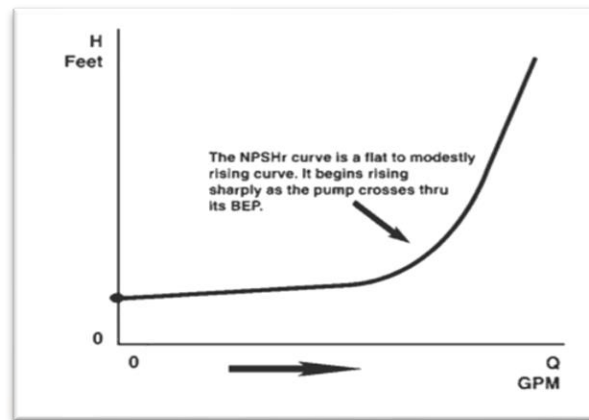
#### **f) Curva de npsH requerido**

Paresh (2005) nos dice que básicamente la curva del NPSH requerido es normalmente plana con una ligera inclinación ascendente hasta que atraviesa la zona de la máxima eficiencia (BEP), donde la curva y los valores de esta incrementan de manera exponencial, tal como se muestra en la siguiente figura:



**Figura 17:**

*Gráfica NPSH Requerida de una bomba centrífuga*



Fuente: Know and understand centrifugal Pumps, Larry bachus and Angel Custodio, (2003).

El valor de NPSH expresa la energía que la bomba precisa en la entrada para que no se produzca cavitación, por esta razón, es el valor de referencia que todo fabricante debe suministrar dentro de las características del equipo (Paresh,2005).

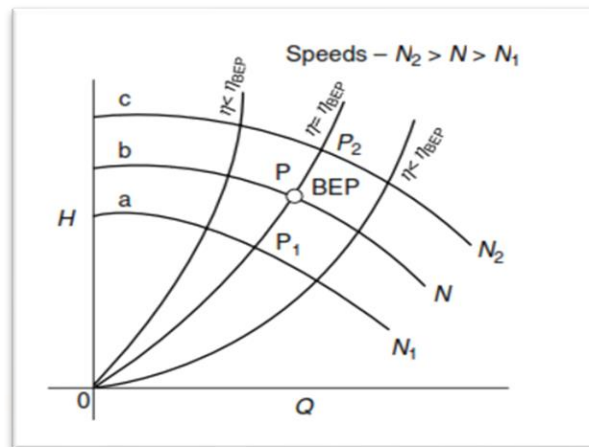
### ***2.5.1.2. Efectos de variación del rpm de una bomba en las curvas de rendimiento***

Cuando la velocidad de funcionamiento de una bomba es cambiada o variada entonces también sus factores asociados (caudal y carga hidráulica) serán variados.

Durante el desarrollo del presente documento se ha venido trabajando bajo la suposición de que la bomba se encuentra a velocidad constante. Sin embargo, en los casos prácticos de la industria, muchas bombas operan conectadas con un variador de velocidad o “Drive” el cual modificará las curvas de desempeño de la bomba.

**Figura 18:**

*Efectos de las velocidades de la bomba en la curva H - Q*



Fuente: Practical centrifugal Pumps – Design, operation and maintenance, Paresh Girdhar B. Eng and Octo Moniz CEng, MBA, (2005).

Paresh (2005), nos dice que como la potencia es proporcional al producto del caudal Q y la carga H, Entonces, la potencia es proporcional a  $N^3$ .

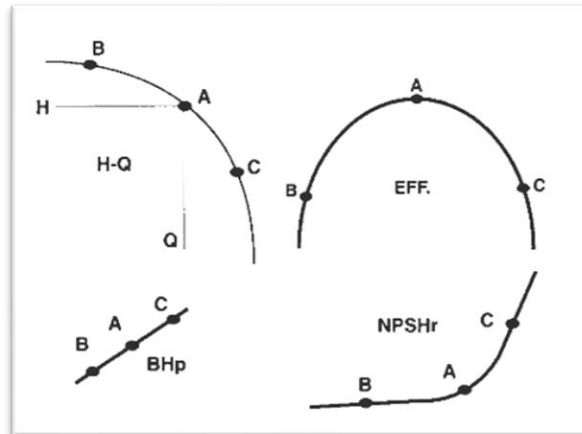
$$\frac{P_1}{P_2} = \left(\frac{N_1}{N_2}\right)^3$$

Estas ecuaciones normalmente no coinciden con los valores obtenidos en la práctica, ya que estas ecuaciones suponen una eficiencia constante a lo largo de todo el funcionamiento de la bomba. Estas diferencias se hacen más evidentes cuando la variación de la velocidad es superior al  $\pm 25\%$  (Parish,2005).

### 2.5.1.3. Análisis de las curvas de desempeño de las bombas centrífugas

**Figura 19:**

*Gráficas de desempeño de una bomba centrífuga*



Fuente: Know and understand centrifugal Pumps, Larry bachus and Angel Custodio, (2003).

Bachus, en el 2003, analiza las curvas de la siguiente manera:

Punto A: Punto de máxima eficiencia y el punto ideal de trabajo de una bomba centrífuga, con consumo medio de energía y requerimiento de carga de succión positiva mínima (justo antes de la pendiente).

Punto B (Zona izquierda del BEP): Disminución del caudal de trabajo y aumenta de la carga hidráulica (disminución de la eficiencia de la bomba). Mínimos requerimiento de energía y de carga de succión positiva.

Con la caída de la eficiencia y la disminución del caudal, la bomba aumenta sus niveles de vibración, pudiendo presentar deflexión en el eje, falla en los rodamientos y sellos mecánicos.

Trabajar en un punto muy alejado del BEP (Zona D de la Figura N°15) es peligroso y ocasiona severos daños. La bomba se vuelve muy ineficiente con una excesiva recirculación (interior de la bomba) y aumento de la temperatura del líquido,

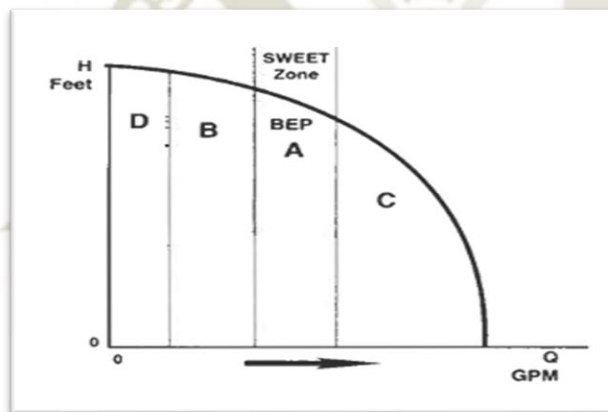


está sometida a altos niveles de presión y cargas radiales, deflexión del eje y altas vibraciones.

Punto C (Zona derecha del BEP): Aumento del caudal de trabajo y disminución de la carga hidráulica (disminución de la eficiencia). Aumento del requerimiento de energía (sobrecarga del motor) y de la carga de succión positiva. En este punto, el líquido puede ser expulsado de la bomba más rápido de lo que ingresa, es la zona típica en donde se presentan daños por cavitación (Bachus,2003).

**Figura 20:**

*Zonas de trabajo bomba centrífuga gráfica H-Q*



Fuente: Know and understand centrifugal Pumps, Larry bachus and Angel Custodio, (2003).

### 2.5.2. *Criterios de selección de una bomba centrífuga*

En 2005, Paresh definió criterios para la selección de bombas a partir de:

- Análisis del sistema.
- Requerimientos mecánicos.

#### 2.5.2.1. *Análisis del sistema*

Siendo el primer paso mandatorio para poder definir las especificaciones de nuestra bomba. Se evaluarán los siguientes puntos:

- Límites de operación de la bomba.
- Características del fluido.
- Niveles de Operación.
- Criticidad del servicio.

#### **2.5.2.1.1. Límites de operación**

##### **a. NPSH disponible y NPSH requerido**

El NPSH disponible está determinado por los siguientes factores:

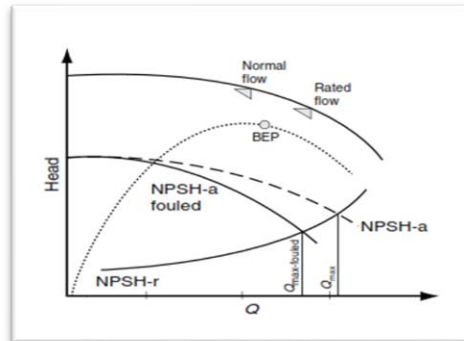
- Presión del líquido.
- Pérdidas en la tubería de succión.
- Altura Neta.
- Presión absoluta.

Todas las pérdidas en la succión ya se por suciedad, incremento en la temperatura del agua, falta de mantenimiento, accesorios, longitud de tuberías, etc. Ocasionan una disminución en el NPSH disponible. Este efecto ocasiona que el margen entre el NPSH disponible y el NPSH requerido sea menor reduciendo también el caudal máximo de operación de la bomba (Paresh,2005).

Este efecto se puede visualizar en la figura siguiente:

**Figura 21:**

*Efecto de la suciedad en NPSH disponible y flujo máximo de la bomba*

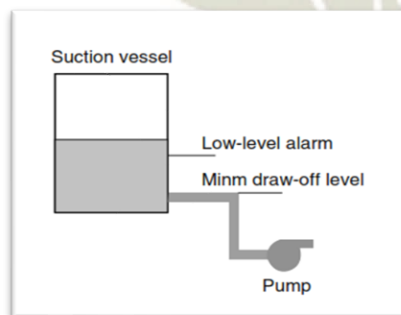


Fuente: *Practical centrifugal Pumps – Design, operation and maintenance*, Paresh Girdhar B. Eng and Octo Moniz CEng, MBA, (2005).

Dentro de las consideraciones del diseño del sistema, debe analizarse el nivel mínimo de operación de líquido el cual representa la altura mínima de succión de la bomba. De esta manera, se considerará como límite de operación el caudal máximo esperado con el nivel mínimo de succión (Paresh,2005).

**Figura 22:**

*Altura mínima de succión*



Fuente: *Practical centrifugal Pumps – Design, operation and maintenance*, Paresh Girdhar B. Eng and Octo Moniz CEng, MBA, (2005).

El NPSH requerido da una indicación de la capacidad de succión de una bomba, tal que, cuando menor es el valor requerido, tanto mayor es su capacidad de aspiración



(medidas constructivas). El NPSH disponible debe de ser igual o mayor al NPSH requerido, la mayoría de las especificaciones de la bomba citan un margen de no menor de 1 a 1.5 en todo el rango de operación.

#### **b. Velocidad de succión**

La velocidad de succión está definida con la siguiente ecuación:

$$N_{ss} = \frac{N * \sqrt{Q}}{(NPSH_r)^{3/4}}$$

N = Revoluciones por minuto de la bomba (RPM).

Q = Caudal BEP (US GPM).

NPSH<sub>r</sub> = NPSH requerido (pies)

Estudios empíricos realizados establecen que bombas con velocidad de succión menores a 11 000 son más estables y confiables durante su operación. Tomando como base esta recomendación, mucho de los usuarios toman valores entre los 8000 – 110000 como el rango de funcionamiento óptimo y libre de problemas. Para bombas que trabajan con N > 11000, generalmente se recomienda que los niveles de operación no sean menores al 60 – 70 % de su caudal en el punto de operación óptimo (Paresh,2005).

Cuando la bomba es operada por debajo de estos valores se podría experimentar problemas tales como:

- Erosión en la carcasa y en el impulsor.
- Estrés y deflexión en el eje.
- Falla en los rodamientos.
- Problema con los sellos.

### c. Altura del sistema

En 2005, Paresh considera los siguientes factores:

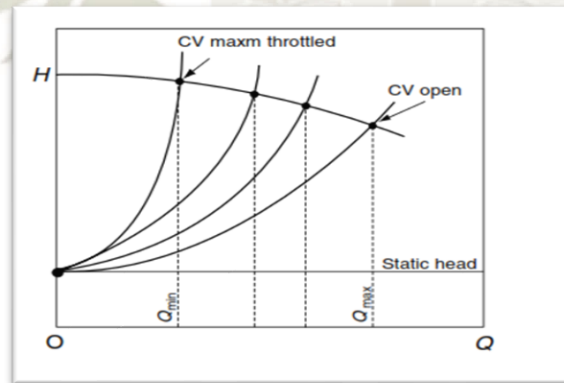
- Altura estática entre la succión y la descarga.
- El aumento y/o disminución de las pérdidas en función del caudal.

Sistemas con gran cantidad de pérdidas (grandes números de codos, reducciones, válvulas, etc) producen que la curva del sistema aumente rápidamente, impidiendo o estableciendo límites al caudal máximo requerido.

Las válvulas de regulación (válvulas de control) permiten modificar la tasa de incremento de la curva del sistema, tal como se puede visualizar en la siguiente imagen (Paresh,2005):

**Figura 23:**

*Variación de curvas del sistema con válvula de regulación*



Fuente: *Practical centrifugal Pumps – Design, operation and maintenance*, Paresh Girdhar B. Eng and Octo Moniz CEng, MBA, (2005).

En caso se encuentren en el sistema, estas deben de ser dimensionadas tal que, proporcionen pérdida de carga artificial a la tasa de flujo nominal y pérdida mínima en las tasas de flujo máxima.

#### ***2.5.2.1.2. Niveles de operación***

En las especificaciones técnicas de las bombas, normalmente se indican 2 tipos de caudales:

- Caudal Normal: Flujo de operación normal de la bomba.
- Caudal Nominal: Flujo que garantiza el proveedor bajo ciertas condiciones de operación.

Usualmente el caudal Nominal es un 10% superior al caudal normal para flujos bajos a medios y un 5% superior para caudales grandes. Cabe indicar que los costos por ciclo de vida de bombas que trabajan en sistemas de operación cercanas a sus características (datos de placa, punto de operación óptimo) son menores. (Pasresh,2005).

#### ***2.5.2.1.3. Características del fluido***

Paresh (2005) nos dice que las características del fluido a transportar de un sistema determinan también características de las bombas, tales como:

- Características de construcción.
- Sellos mecánicos.
- Potencia.
- Entre otros.

Todos los líquidos utilizados se debe comprobar sus niveles de riesgos y potencial toxicidad, los cuales pueden incluir acides, riesgos para la salud y medio ambiente, riesgos de explosión, etc. Líquidos peligrosos como tóxicos, inflamables, ácidos, cancerígenos entre otros, demandan condiciones estrictas de diseño (Paresh,2005).



#### **2.5.2.1.4. Criticidad del servicio**

Las criticidades de las bombas están definidas por los mismos usuarios (operadores, mantenedores y dueños del equipo), pero pueden basarse en los siguientes factores (Paresh,2005):

- Fallas que afectan la seguridad operacional y del personal y no cuentan con un respaldo (standby).
- Bombas principales, cuya falla obligan a la paralización de la operación.
- Bombas de alto costo de adquisición, mantenimiento y/o reparación (periodos largos de reparación).

Para todos los sistemas críticos dentro de una industria y/o proceso la recomendación principal es siempre tener un sistema de respaldo, que garantice una operación continua (Paresh,2005).

#### **2.5.2.1.5. Requerimientos mecánicos**

Compuesta por la hoja técnica (Data sheet) de la misma bomba, la cual es construida a partir de pruebas y estudios realizados por los mismos fabricantes (Paresh,2005).

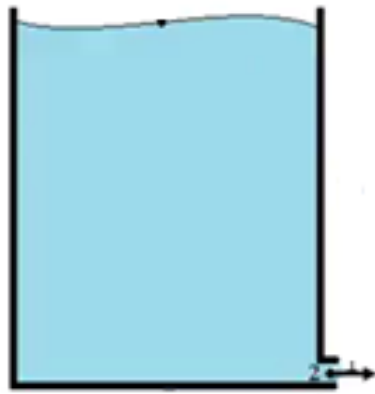
En la hoja técnica se debe exigir la siguiente información:

- Datos de Operación (Tipo de fluido con el que trabaja)
- Datos de la bomba (Sistema, curvas características, RPM, Potencia)
- Condiciones del sitio
- Dimensiones
- Rodamientos y lubricación
- Etc.

### 2.5.3. Cálculo de consumo de agua en la descarga de un recipiente

**Figura 24:**

*Descarga de un recipiente a través de un orificio*



Fuente: Diseño propio, (2019).

#### **Ecuación de Bernoulli**

$$h_1 + \frac{V_1^2}{2 * g} + \frac{p_1}{\rho * g} = h_2 + \frac{V_2^2}{2 * g} + \frac{p_2}{\rho * g}$$

Tomando las siguientes consideraciones:

- Diámetro del reservorio en 1 es bastante grande en comparación con el diámetro del agujero en 2.
- Densidad en 1 es igual a la densidad en 2 (densidad del líquido constante).
- $H_2 = 0$  (nivel de referencia)

Tenemos:

$$h_1 = \frac{V_2^2}{2 * g}$$

Por tal:

$$v = c_v * \sqrt{2 * g * h} \quad (x)$$

La ecuación “x” representa el principio o teorema de Torricelli (1643) que es una aplicación del principio de Bernoulli:

“La velocidad de un líquido en una vajilla abierta por un orificio, es la que tendría un cuerpo cualquiera cayendo libremente en el vacío desde el nivel del líquido hasta el centro de gravedad del orificio” Torricelli

#### **2.5.3.1. Coeficiente de velocidad**

Se ha visto y demostrado en muchos proyectos de investigación que la velocidad en el punto 2 real es menor que la velocidad teórica (ecuación “x”), el coeficiente de velocidad es un valor que oscila entre 0 y 1, y depende de factores tales como la viscosidad del fluido, tensión superficial, diámetro del orificio, etc.:

$$0 \leq c_v \leq 1$$

Para determinar el valor del coeficiente de velocidad existen tablas experimentales como las de Smith y Waker.

#### **2.5.3.2. Coeficiente De Concentración**

Es la relación entre el área contraída y la del orificio. Su concepto radica en el cambio brusco de sentido que son sometidas las partículas de la pared interior del reservorio principal próximas al orificio. Su valor numérico varía de acuerdo al diámetro del orificio y la carga, disminuyendo con diámetros mayores y con incrementos en la carga.



### 2.5.3.3. Coeficiente de descarga

El volumen del fluido está definido por el producto de la sección contraída con la velocidad real del fluido:

$$Q = A_c * v$$

$$Q = A * C_c * C_v * \sqrt{2 * g * h}$$

$$C_d = C_c * C_v$$

$$Q = A * C_d * \sqrt{2 * g * h}$$

Numéricamente el coeficiente de descarga es el producto de dos coeficientes (Coeficiente de velocidad y el coeficiente de concentración). Y sus valores para el agua han sido determinados experimentalmente por J. Bilton en 1908, Judd y King, Medaugh y Johnson en Julio de 1940. (Ver tabla 2, 3 y 4)

**Tabla 1:**

*Coeficiente de Descarga por Biltron*

<i>Carga en pulg.</i>	<i>Diámetro del orificio en Pulg.</i>						
	0.25	0.5	0.75	1	1.5	2	2.5
3	0.68	0.657	0.646	0.64			
6	0.699	0.643	0.632	0.626	0.618	0.612	0.61
9	0.66	0.637	0.623	0.619	0.612	0.606	0.604
12	0.653	0.63	0.618	0.612	0.606	0.601	0.6
17	0.645	0.625	0.614	0.608	0.608	0.599	0.598
18	0.643	0.623	0.613				
22	0.638	0.621					
45	0.628						

Fuente: Mecánica de fluidos, White Frank, (2004).

**Tabla 2:**

*Coefficiente de descarga por Judd y King*

Diámetro en Pulg.	Valor de C
0.75	0.6111
1	0.6097
1.5	0.6085
2	0.6083

Fuente: Mecánica de fluidos, White Frank, (2004).

**Tabla 3:**

*Coefficiente de descarga por Medaugh y Jonhson*

Carga en pies	Diámetro del orificio en plg.					
	0.25	0.5	0.75	1	2	4
0.8	0.647	0.627	0.616	0.609	0.603	0.601
1.4	0.635	0.619	0.61	0.605	0.601	0.599
2	0.629	0.615	0.607	0.603	0.6	0.599
4	0.621	0.609	0.603	0.6	0.598	0.597
6	0.617	0.607	0.601	0.599	0.596	0.596
8	0.614	0.605	0.6	0.598	0.596	0.595
10	0.613	0.604	0.599	0.597	0.595	0.595
12	0.612	0.603	0.599	0.597	0.595	0.595
14	0.611	0.603	0.598	0.596	0.595	0.594
16	0.61	0.602	0.598	0.596	0.595	0.594
20	0.609	0.602	0.598	0.596	0.595	0.594
25	0.608	0.608	0.601	0.597	0.595	0.594
30	0.607	0.6	0.597	0.595	0.594	0.594
40	0.606	0.6	0.596	0.595	0.594	0.593
50	0.605	0.599	0.596	0.595	0.594	0.593
60	0.605	0.599	0.596	0.594	0.593	0.593

80	0.604	0.598	0.595	0.594	0.593	0.593
100	0.604	0.598	0.595	0.594	0.593	0.593
120	0.603	0.598	0.595	0.594	0.593	0.592

Fuente: Mecánica de fluidos, White Frank, (2004).

#### **2.5.4. Sistemas de bombeo**

##### ***2.5.4.1. Clasificación de líneas de conducción***

###### ***2.5.4.1.1. Conducción por bombeo***

Los sistemas de conducción por bombeo son aquellos en donde adicionar energía es necesario para transporte el consumo de agua, gas, etc. De un punto a otro. Generalmente, cuando la altura piezométrica en la fuente u origen es inferior a la requerida en el punto de llegado o entrega.

###### ***2.5.4.1.2. Conducción por gravedad***

A diferencia del sistema de conducción por bombeo, para este tipo de sistemas la altura piezométrica de agua en la fuente es superior a la requerida en el punto de entrega.

En otras palabras, la conducción se da sin necesidad de bombear el fluido a raíz del aprovechamiento de la energía disponible presente con la diferencia piezométrica.

###### ***2.5.4.1.3. Conducción por bombeo-gravedad***

Al tener un sistema conformado por puntos con una elevación mayor que en el punto de suministro, y según la necesidad se requiera evaluar la instalación de un tanque intermedio de almacenamiento. Esta simple modificación lo convierte en un sistema mixto.



### 2.5.4.2. Cálculos hidráulicos

#### 2.5.4.2.1. Consideraciones técnicas

##### a. Ecuación de conservación de la energía

Toda bomba debe de satisfacer las necesidades del sistema donde está instalada (presión y caudal), la cual puede estar sometida a variaciones, cambios permanentes y/o temporales, tales como:

- Ampliación de las tuberías, válvulas y racores.
- Aumento en la cantidad de consumo (mayor requerimiento de flujo)
- Entre otros.

Todas estas variaciones en el sistema moverán a la bomba de su punto de operación inicial, lo cual puede llevar a que la bomba trabaje en condiciones de operación para cual no ha sido diseñada.

$$\left( z_1 + \frac{V_1^2}{2 * g} + \frac{P_1}{\gamma} \right) - \left( z_2 + \frac{V_2^2}{2 * g} + \frac{P_2}{\gamma} \right) = H_f$$

A esta ecuación se le conoce como “Ecuación de Bernoulli Modificada” y puede aplicarse a cualquier sistema de tuberías interconectadas entre sí, con distintos tipos de accesorios cada una (válvulas, codos, “T”, etc.).

Los sistemas dinámicos de las bombas están compuestos generalmente por 4 elementos, los cuales se describen a continuación (White,2015):

1.  $H_s$  – Carga Estática: O cambio en la elevación del líquido en todo el sistema (diferencia en el nivel de la superficie del líquido en la succión frente a la descarga), medido en metros o pies. Cuando no existe una diferencia de nivel medida, se dice que el sistema no cuenta con carga estática.

2.  $H_v$  – Carga de Velocidad: Es la energía perdida en el sistema debido a la velocidad de movimiento de líquido dentro de las tuberías (medida en metros o pies):

$$H_v = \frac{V^2}{2 * g}$$

$V =$  Velocidad del Líquido  $\left(\frac{m}{s}\right)$

$G =$  Aceleración de la gravedad  $\left(\frac{m}{s^2}\right)$

3.  $H_f$  – Carga de fricción: Pérdidas por fricción en el sistema (expresado en metros o pies).

Pérdidas por fricción está constituida por 02 grupos, pérdidas primarias o mayores y las pérdidas secundarias o menores:

$$H_f = h_f + h_a$$

**Donde:**

$h_f =$  Pérdidas primarias o mayores (m)

$h_a =$  Pérdidas secundarias o menores (m)

Cada uno de estos grupos se desarrollarán a continuación.

#### **b. Pérdidas de energía por fricción en la conducción ( $h_f$ )**

Las pérdidas de fricción se producen por (White,2015):

- Paso del fluido (rozamiento en las paredes, que está en función de la rugosidad de la tubería, diámetros, velocidad, viscosidad y densidad del fluido).

- Cambio de dirección del flujo, estrangulamiento u obstrucción en el paso del fluido.
- Entre otros.

Las pérdidas para una tubería recta se expresan por la ecuación de Darcy-

Weisbach:

$$h_f = \left( f * \frac{L}{D} \right) * \frac{v^2}{2 * g}$$

$$k = f * \frac{L}{D}$$

**Donde:**

*f* = Coeficiente de pérdidas (Adimensional)

*L* = Longitud de la tubería (m)

*D* = Diámetro de la tubería (m)

*v* = Velocidad media del fluido ( $\frac{m}{s}$ )

*g* = Aceleración de la gravedad ( $\frac{m}{s^2}$ )

*h<sub>f</sub>* = Pérdidas por fricción (m)

La relación  $L / D$  se refiere a la longitud equivalente en diámetros de tubería recta que causa la misma pérdida de presión que el obstáculo, en las mismas condiciones de flujo. El coeficiente de pérdidas *f* por su parte, está en función de la rugosidad de las paredes la tubería por donde circula el fluido, para cuestiones de cálculo y/o diseño se toma un valor promedio ya que, este valor difiera a lo largo de todo el sistema (White,2015).



Este coeficiente fue determinado a través de estudios experimentales y fue asociado al diámetro, rugosidad del material de la tubería y el número de Reynolds:

$$Re = \frac{V * D}{\nu}$$

**Donde:**

$\nu =$  Viscosidad cinemática del fluido ( $\frac{m^2}{s}$ )

$Re =$  Numero de Reynolds

Para valores de Reynolds mayores a 4000 (Zona de transición y turbulencia completa) fue determinado por Coolebrook y White (1939) de acuerdo a la siguiente formula:

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 * \log \left( \frac{\frac{\varepsilon}{D}}{3.71} + \frac{2.51}{Re * \sqrt{f}} \right)$$

**Donde:**

$\varepsilon =$  Rugosidad absoluta de la Pared interior del tubo

$Re =$  Numero de Reynolds

En base a los resultados, Moody (1944) presento un diagrama universal para determinar el coeficiente de fricción para tuberías de rugosidad comercial (Figura N°19).

Por otra parte, Swamee – Jain (1976) presentó una aproximación para el cálculo de forma directa del coeficiente de perdidas, de acuerdo a la siguiente fórmula formula:

$$f = \frac{0.25}{\left( \log \left( \frac{\frac{\varepsilon}{D}}{3.71} + \frac{5.74}{Re^{0.9}} \right) \right)^2}$$

Valido para  $5000 < Re < 10^6$  y  $10^{-6} < \frac{\varepsilon}{D} < 10^{-2}$

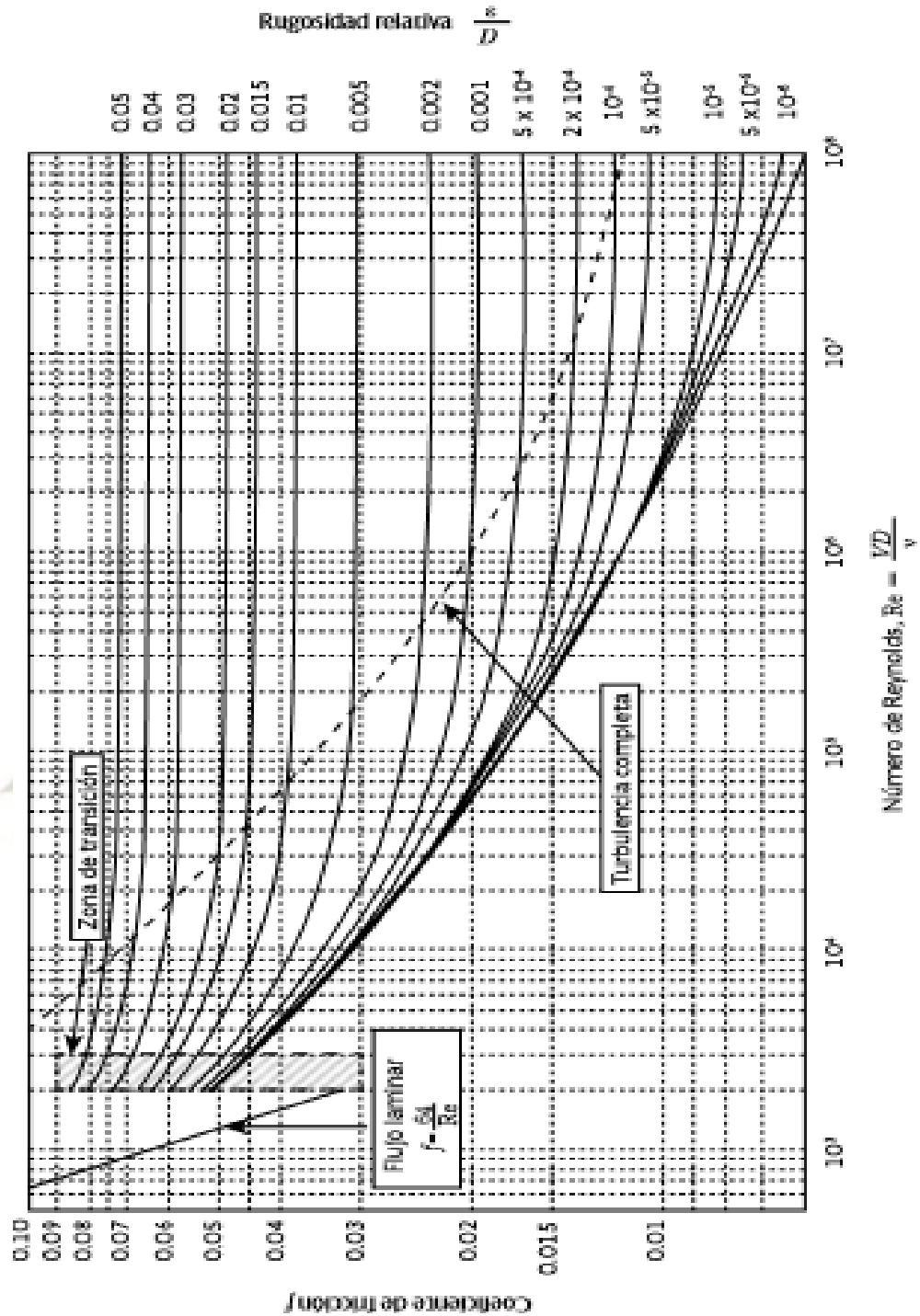
Finalmente, para las zonas hidráulicamente lisas de flujo turbulento en tuberías se tiene una ecuación empírica que fue desarrollada por Blasius:

$$f = \frac{0.3164}{Re^{1/4}}$$

**Figura 25:**

*Diagrama de Moody*





Fuente: Mecánica de fluidos, White Frank, (2004).



**c. Pérdidas de energía por uso de accesorios**

$$h_a = k * \frac{v^2}{2 * g}$$

**Donde:**

$k$  = Coeficiente de resistencia (Adimensional)

$v$  = Velocidad media del fluido  $\left(\frac{m}{s}\right)$

$g$  = Aceleración de la gravedad  $\left(\frac{m}{s^2}\right)$

$h_a$  = Pérdidas por fricción (m)

El coeficiente de resistencia  $k$  en la ecuación de pérdidas de energía por uso de accesorios, está definido como la pérdida de presión de velocidad para una válvula o accesorio y pueden ser definidas o estimadas en base a los valores proporcionados por los fabricantes. Dicho factor, está siempre asociado con el diámetro de la tubería (White,2015).

**Tabla 4:**

*Valores de “k” para cálculos de pérdidas locales*

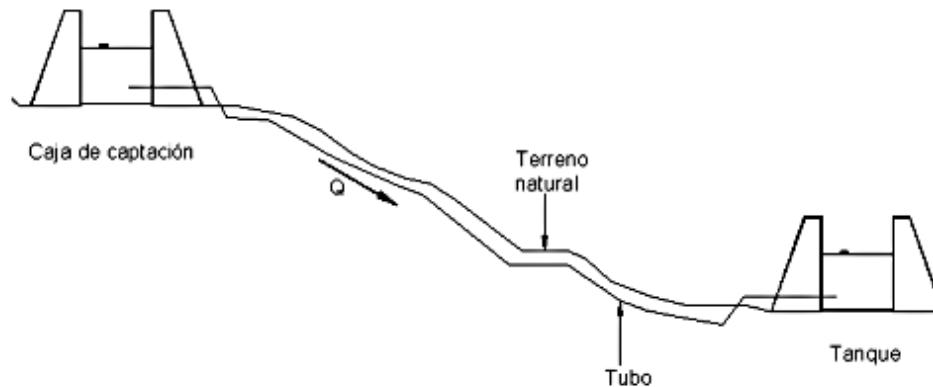
Elementos	Coefficiente k
Válvulas	
Válvula de globo, completamente abierta	10.00
Válvula en ángulo, completamente abierta	5.00
Válvula Check completamente abierta	2.50
Válvula compuerta, completamente abierta	0.20
Válvula de compuerta, con 3/4 de apertura	1 a 115
Válvula de compuerta, con 1/2 de apertura	5.60
Válvula de compuerta, con 3/4 de apertura	24.00
Accesorios	
Codo de radio corto ( $r/d = \pm 1$ )	0.90
Codo de radio mediano	0.75 a 0.80
Codo de gran radio ( $r/d = \pm 1.5$ )	0.60
Codo de 45°	0.4 a 0.42
Retorno (Curva en U)	2.20
Tee en sentido recto	0.30
Tee a través de la salida lateral	1.80
Unión	0.30
Ye de 45°, en sentido recto	0.30
Ye de 45°, salida lateral	0.80
Entrada recta a tope	0.50
Entrada con boca acampanada	0.10
Entrada con tubo reentrante	0.90
Salida	1.00
Depósito a tubería (perdida a la entrada)	
Conexión a ras de la pared	0.50
Tubería entrante	1.00
Conexión albocinada	0.05
De tubería a depósito (pérdida a la salida)	1.00
Contracción brusca (ver Tabla 3.3)	k
Codos y Tees	
Codo de 45°	0.35 - 0.45
Codo de 90°	0.5 - 0.75
Tees	1.5 - 2.00

Fuente: (Sotelo, 1997)

#### 2.5.4.2.2. Diseño hidráulico de líneas de conducciones por gravedad

**Figura 26:**

*Línea de conducción por Gravedad*



Fuente: CONAGUA (2014), Manual de agua potable, alcantarillado y saneamiento

Para este tipo de sistemas de conducción como se ha mencionado anteriormente la energía disponible está dada por las cargas hidráulicas existentes en la captación (fuente) y la descarga (depósito final).

Por tal, el problema radica en poder determinar el diámetro óptimo de la tubería, tal que, podemos obtener los niveles de caudal y presión requeridos con las pérdidas mínimas.

Otro punto importante a considerar son las velocidades de diseño, velocidades mínimas para evitar la precipitación de partículas que arrastra el agua y la velocidad máxima que ocasionaría grandes erosiones y por ende pérdidas de fricción en las paredes de la tubería (CONAGUA,2014).

$$v_{\min} = 0.3 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$



$$v_{\max} = 3 - 5 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

En la práctica no se llega a alcanzar dichos valores ya sea por cuestiones económicas, operación y/o efectos transitorios. Se recomienda que las velocidades fluctúen entre 2.1 a 2.5 m/s como velocidades máximas, y 0.5 m/s para velocidades mínimas (CONAGUA,2014).

#### **2.5.4.2.3. Diseño hidráulico de líneas de conducciones por bombeo**

Tal como su nombre lo indica, para este tipo de sistemas existirá uno o varios equipos que adicionarán cargas al sistema, por tal, la ecuación de Bernoulli se modificará de la siguiente manera:

$$\left( z_1 + \frac{V_1^2}{2 * g} + \frac{P_1}{\gamma} \right) - \left( z_2 + \frac{V_2^2}{2 * g} + \frac{P_2}{\gamma} \right) = H_f + H_B$$

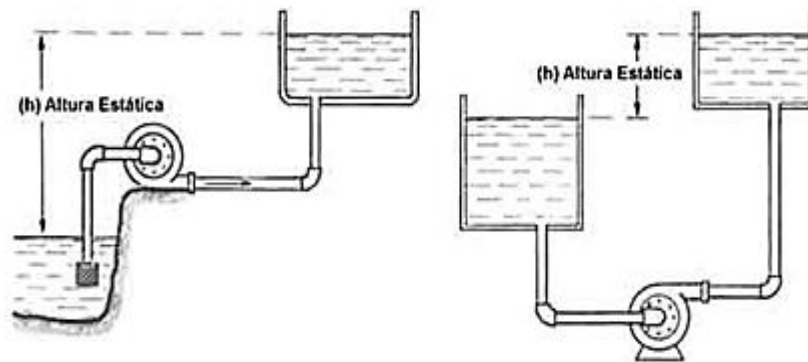
**Donde:**

$H_B$  = Energía de la bomba (m)

En la figura número 23 se muestra el arreglo típico de una instalación de bombeo para servicio de agua.

**Figura 27:**

*Arreglo típico de instalación de bombeo*



Fuente: Mecánica de fluidos, White Frank, (2004).

### 2.5.4.3. Selección de la tubería

#### 2.5.4.3.1. Diámetro óptimo

A fin de encontrar el diámetro óptimo, es decir, aquel que suma ambos intereses de bajo costo en instalación y operación se desarrollaron varios modelos empíricos tales como Fórmula de Mendiluce, Melzer, Vibert y de Bresse

Para fines de desarrollo del presente proyecto se utilizará la fórmula de Bresse, puesto que se trata de un modelo elemental y conservado (no considera costos de energía y asume un consumo constante de bombeo a lo largo de todo el sistema) que toma como referencia velocidad del fluido y horas de operación (CONAGUA,2014).

$$D = k * \sqrt{Q}$$

**Donde:**

$k$  = Coeficiente económico (comumente entre 0.8 y 1.3)

$$v = \text{Caudal} \left( \frac{m^3}{s} \right)$$

#### **2.5.4.3.2. Criterios para la selección del material**

CONAGUA, en el 2014 considera los siguientes criterios para la selección del material:

##### **a. Económico**

Para la selección se deberá evaluar la mejor relación calidad / precio:

- Costos de adquisición e instalación de tuberías (Diámetro, espesor, Normas)
- Costo de Operación de mantenimiento (Consumo de energía, mantenimiento protección anti-corrosión, vigilancia, detección de fallas, etc.

##### **b. Propiedades mecánicas**

Propiedades del material para soportar una carga estática y dinámica.

La selección de un material para cualquier aplicación estructural dependerá de sus propiedades mecánicas. Dentro de estos parámetros se encuentra las características de resistencia a la tensión, fluencia, elongación, dureza, rugosidad, fatiga, entre otros.

##### **c. Resistencia a la corrosión**

La corrosión es un fenómeno que se puede presentar en diversas formas generalizadas, galvánica, por picadura y en zonas estancas.

Por ello, el material seleccionado para la tubería deberá considerar los aspectos de corrosión tanto interna como externa.

- Corrosión interna: Características propias del fluido, temperatura, contacto con metales diferentes.
- Corrosión externa: Resistencia del terreno, cercanía al mar o río, cloruro en el suelo, cercanía a torres de alta tensión.



***d. Facilidad de instalación***

Indicador relacionado directamente con los costos de instalación.

El principal factor está relacionado al peso de la tubería, tuberías muy pesadas dificulta las maniobras de instalación. Se debe optar por tuberías de alta resistencia, ligeras y flexibles.

***e. Vida útil***

Tiempo en el que la tubería estará en operación y cubriendo la demanda para la cual ha sido diseñada.

***2.5.4.4. Tipos de válvulas en sistemas de bombeos***

Las válvulas pueden clasificarse de muchas formas, como, por ejemplo:

- Forma de Cierre: Giro, asiento y diafragma
- Tipo de accionamiento: Motorizadas, manuales, neumáticas, entre otras.
- Función que realizan dentro del sistema:
  - Válvulas de control
  - Válvulas reguladoras de presión
  - Válvulas de protección
  - Válvulas de operación

En el presente proyecto desarrollaremos más a detalle la clasificación de acuerdo a la función que realizan:

#### ***2.5.4.4.1. Válvulas de control***

Tal como su nombre lo indica, son válvulas utilizadas para controlar la cantidad de flujo de un fluido que pasa a través de ella, pueden ser operadas de manera remota utilizando energía de un sistema (agua, aire, aceite) como también pueden operar de manera autónoma. Con el control de estas válvulas se consigue el control de la variable del proceso.

#### ***2.5.4.4.2. Válvulas reguladoras de presión***

En 2014, CONAGUA define las válvula reguladores de presión según los siguientes criterios:

##### **a. Válvula aliviadora de presión**

El objetivo de estas válvulas es liberar presión del sistema lo antes posible, es por ello, que dichas válvulas abren rápidamente si la presión del sistema es excedida a un valor predeterminado y hacer un cierre lento.

##### **b. Válvulas reductoras de presión**

Utilizadas para mantener una presión constante en el Sistema.

##### **c. Válvulas anticipadoras de onda**

Este tipo de válvulas permiten detectar de manera anticipada un transitorio, de tal forma que abre o cierra de manera automática, evitando así las sobrepresiones que se pudieran presentar en el sistema.

#### **2.5.4.4.3. Válvulas de protección**

Válvulas utilizadas para evitar daños y/o fallos de un equipo o sistema.

##### **a. Válvulas check (no retorno)**

Tal como su nombre lo indica, evita el flujo en sentido contrario al del sistema (flujo en retroceso), de esta manera, se evita la recirculación en el sistema.

##### **b. Válvulas de aire (venteo)**

Para que un sistema conducción presente un comportamiento adecuado es necesario que se controle los niveles de aire tanto en el llenado y vaciado como en operación.

Ello con la finalidad de evitar sobrepresiones en el sistema que ponga en peligro la tubería.

## **2.6. Motores de Corriente Alterna Trifásico**

### **2.6.1. Introducción del motor trifásico**

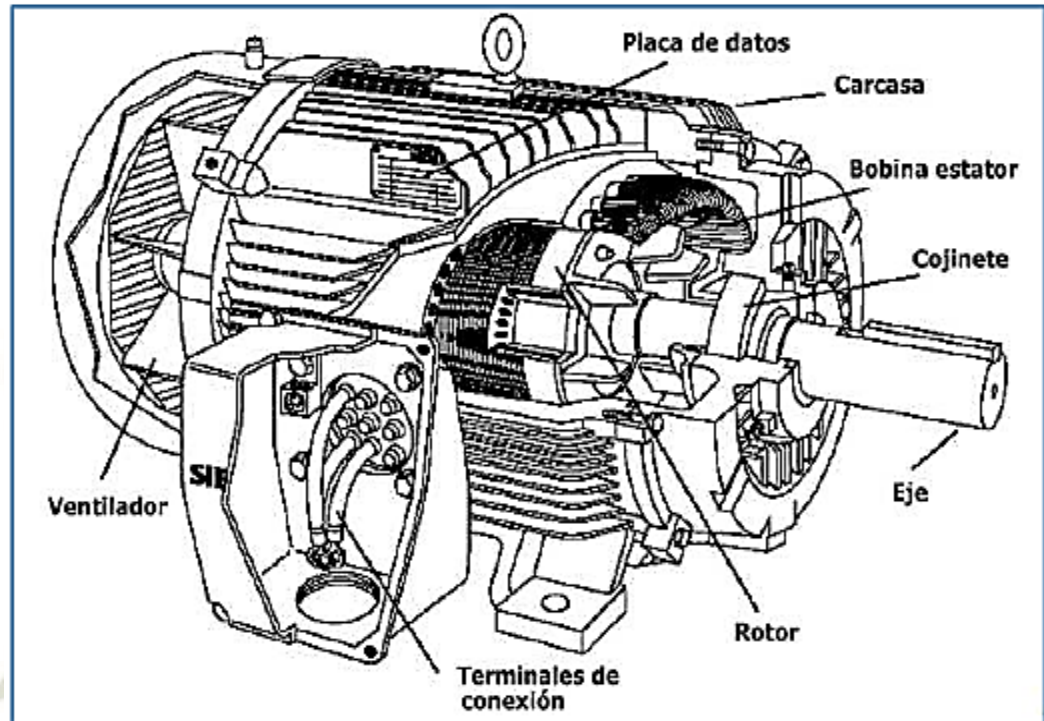
Chapman, S. (2012) separa a los motores eléctricos en dos grandes grupos, motores de inducción o asíncronos y síncronos. Entre los motores de tipo inducción están los motores monofásicos, trifásicos y de rotor bobinado, mientras que en el tipo síncrono están los ato-excitados y DC excitados.

Entre los motores citados, el más usado es el motor de inducción de jaula de ardilla, en el cual su estator presenta un bobinado trifásico simétricamente distribuido formando un ángulo de  $120^\circ$ .



**Figura 28:**

*Partes de un motor DC*



Fuente: Variadores de velocidad, Capítulo I: Introducción a motores eléctricos – Tecsup, (2014)

El rotor o parte móvil está compuesto por un núcleo de hierro laminado atravesado longitudinalmente por varillas de aluminio unidas en sus extremos por anillos del mismo material, al aplicar en el estator o parte fija una fuerza electromotriz de alimentación trifásica desfasada  $120^\circ$  eléctricos, se forma un campo magnético giratorio (teorema de Ferraris) de magnitud y velocidad constante que gira a una velocidad denominada “sincronismo” ( $N_s$ ).

La velocidad síncrona, es representada con la siguiente ecuación.

$$N_s = 120 \frac{f}{p}$$

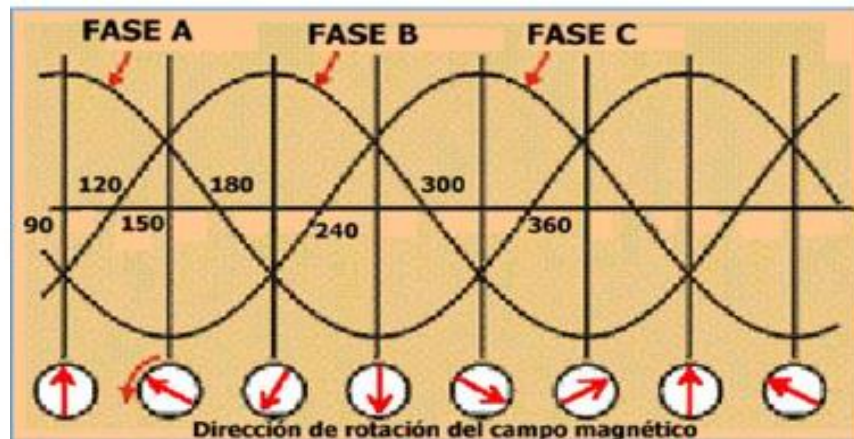
**Donde:**

$f$ : Frecuencia del voltaje de alimentación (Hz).

$p$ : Número de polos del estator del motor.

**Figura 29:**

*Dirección de rotación del campo magnético en motor trifásico.*



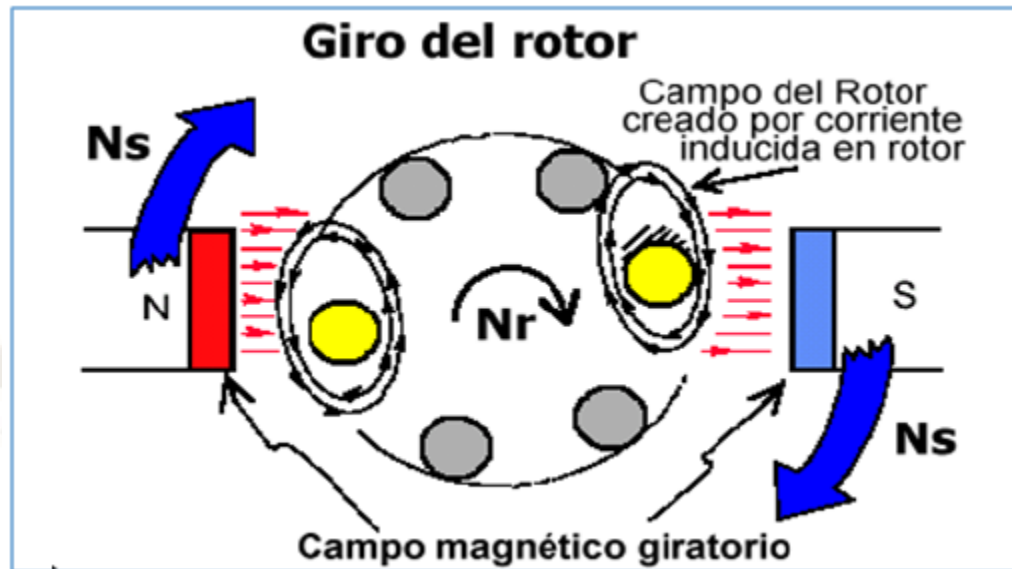
Fuente: Variadores de velocidad, Capítulo I: Introducción a motores eléctricos – Tecsup, (2014).

Este campo magnético giratorio creado induce corriente en las varillas de aluminio del rotor, estas varillas a su vez generan sus propios campos magnéticos, esto ocasiona que estos dos imanes interactúen causando que el imán del rotor persiga al imán del estator, creando rotación. La velocidad del rotor se representa por  $Nr$ .

La velocidad de rotación del campo magnético del estator o velocidad de sincronismo determina la velocidad del rotor, y la fuerza de los campos magnéticos determina la fuerza de atracción entre ellos. Dicha fuerza de atracción al contraponerse en sentido contrario con referencia el eje de rotación, crean un torque que se mide en libras fuerza – pie ( $lb - ft$ ) o Newton – metro ( $N - m$ ).

**Figura 30:**

*Giro de un motor trifásico.*



Fuente: Variadores de velocidad, Capítulo I: Introducción a motores eléctricos – Tecsup, (2014).

La velocidad del rotor o parte móvil del motor nunca alcanza la velocidad síncrona, esta diferencia de velocidad se denomina “deslizamiento” o “slip” y es representada por:

$$slip = \frac{N_s - N_r}{N_s}$$

### 2.6.2. Características del motor trifásico

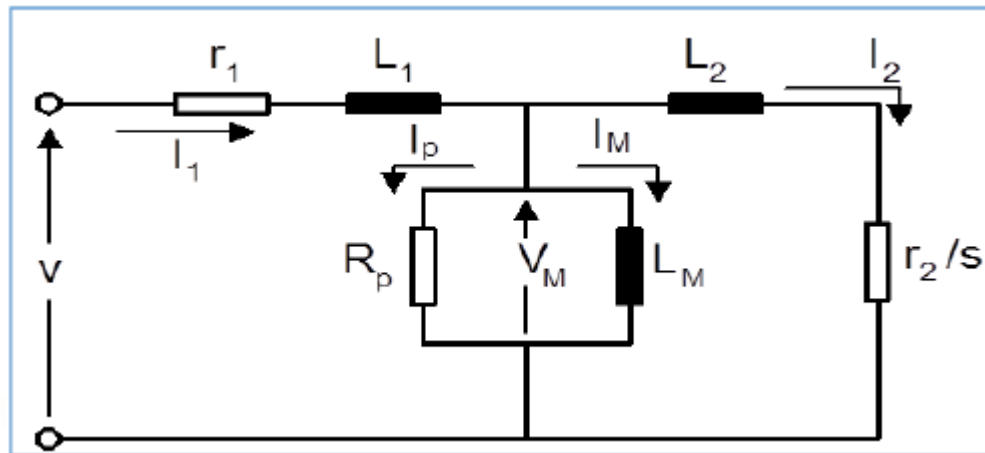
Para entender mejor las características de funcionamiento de un motor de jaula de ardilla o de inducción, es necesario conocer su representación matemática.

Suponiendo que el motor trabaja con voltaje y corriente balanceados, en la imagen se muestra el circuito equivalente por cada fase del motor de inducción, válido para régimen permanente, es decir, en el motor existen tres de estos circuitos.



**Figura 31:**

*Circuito equivalente de un motor jaula de ardilla.*



Fuente: Variadores de velocidad, Capítulo I: Introducción a motores eléctricos – Tecsup, (2014).

**Donde:**

$r_1$  : Resistencia por fase del bobinado del estator.

$L_1$ : Inductancia por fase del bobinado del estator.

$I_1$ : Corriente total por fase consumida por estator.

$R_p$ : Resistencia de pérdidas por magnetización.

$I_p$ : Corriente por pérdidas por magnetización.

$V_m$ : Voltaje inducido en el estator a frecuencia de línea, debido al voltaje en el entrehierro (fuerza contra-electromotriz).

$L_m$ : Inductancia de magnetización (establece el flujo en el entrehierro).

$I_m$ : Corriente de magnetización que establece el flujo magnético en el entrehierro.

$L_2$ : Inductancia por fase en el rotor referida al estator.

$I_2$ : Corriente en el rotor responsable de producir el torque electromagnético  $T_e$ .

$r_2/s$ : Resistencia por fase en el rotor referida al estator entre el deslizamiento.

Dado esto, podemos definir el torque electromagnético mediante la siguiente ecuación:

$$T_e = k_2 I_m I_2 \cos(\gamma)$$

**Donde:**

$k_2$ : Constante.

$\gamma$ : Ángulo de desfase entre la corriente del rotor  $I_2$  y la corriente de magnetización  $I_m$ .

Y la potencia en el eje P es:

$$P = P_{ag} - P_r = T_e \omega$$

**Donde:**

$P_{ag}$ : Potencia que cruza el entre-hierro.

$P_r$ : Potencia perdida en el rotor.

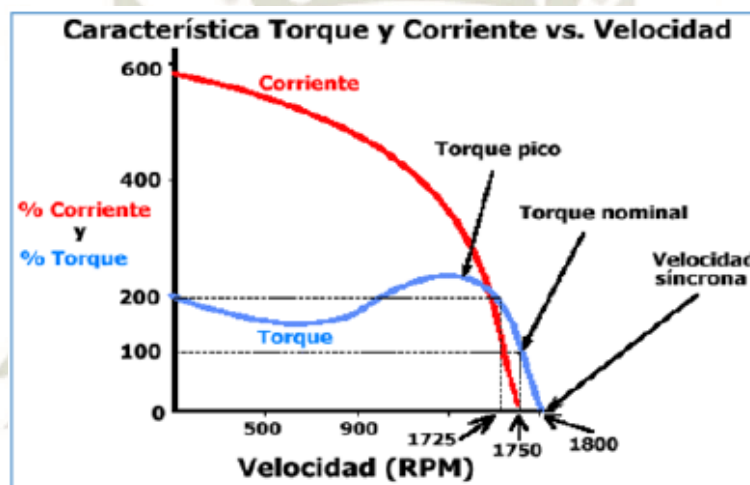
$\omega$ : Velocidad angular del eje del motor.

Como se observa, tanto  $I_m$  como  $I_2$ , ingresan al motor de inducción por un terminal, lo que dificulta el control independiente de ambas. Si se desea que el motor de inducción presente características de control similares a las de los motores DC tipo Shunt, debe de controlarse  $I_1$  de tal modo que se tengan los valores adecuados de  $I_2$  e  $I_m$  y el ángulo  $\gamma$ . Tal forma de control era imposible de realizar limitado por la tecnología de la época hace unos años, pero en la actualidad debido al avance de la electrónica y a la fabricación de componentes electrónicos más potentes, se han alcanzado estrategias de control que permiten grandes prestaciones de operación en los motores de inducción tanto como si se tratase de un motor DC.

Las características de corriente y torque en función de la velocidad del motor de jaula de ardilla se muestran en la siguiente figura. El motor presenta un gran consumo de corriente que puede llegar hasta 6 veces el valor de la corriente nominal al ser arrancado con el voltaje nominal aplicado a sus bornes y el torque alcanza un 200% de su valor nominal.

**Figura 32:**

*Características de Torque y corriente vs. Velocidad en un motor de inducción.*



Fuente: Variadores de velocidad, Capítulo I: Introducción a motores eléctricos – Tecsup, (2014).

Además, se observa que la velocidad del eje del motor depende de la carga presente, logrando mantenerse con una pequeña variación debido a la característica casi vertical de una parte de la curva de torque.

Respecto del deslizamiento o slip “s”, este valor aumenta de manera directamente proporcional a la carga; es decir, a mayor carga el deslizamiento aumenta.



## 2.7. Variadores de Velocidad AC

### 2.7.1. Fundamentos

Debido a la construcción del motor, se entiende que es imposible controlar independientemente las corrientes que producen el flujo magnético y el torque.

Por estas condiciones, las prestaciones de control del motor de jaula de ardilla eran muy deficientes en comparación a lo logrado por el motor DC.

Pero, gracias al avance tecnológico de nuevos tipos de dispositivos de control de potencia, como el Transistor Bipolar de Compuerta Aislada (IGBT) y los procesadores y microcontroladores cada vez más potentes, en la actualidad, se ha logrado desarrollar variadores de velocidad con prestaciones de control similares al de los motores DC.

#### 2.7.1.1. Control de velocidad

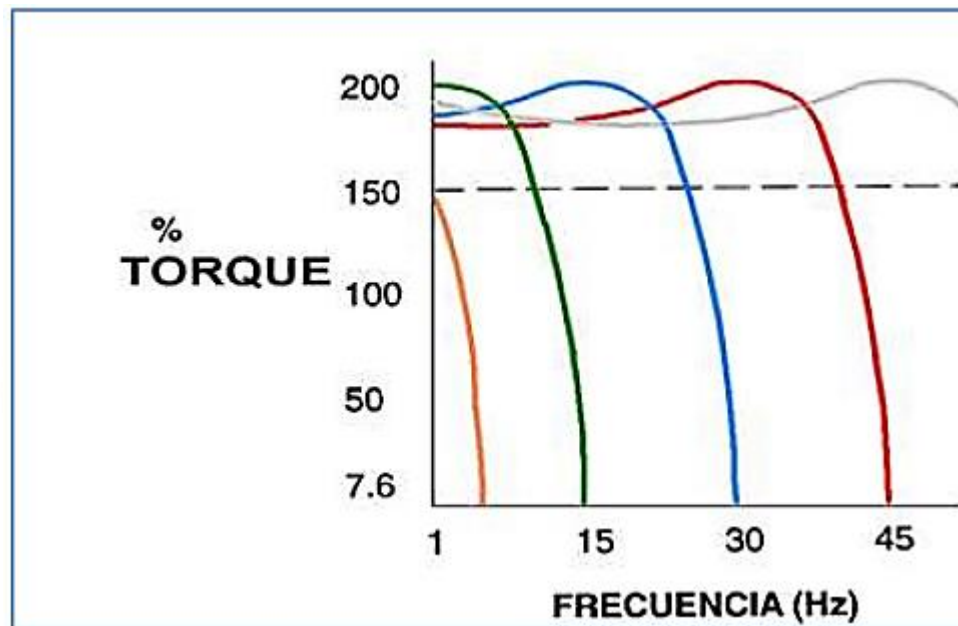
Para alcanzar un control de torque máximo constante en todo rango de variación de velocidad se usa el control de V/F constante. De esta manera, para obtener torque constante, la frecuencia y tensión deben ser variables, lo necesario para que el flujo magnético sea controlado a su valor máximo. Basado en esto, la tensión y la frecuencia varían de tal forma que:

$$\frac{V_m}{\omega} = \textit{constante}$$

Con este tipo de control, las características torque vs. Velocidad de un motor de jaula de ardilla queda como se muestra en la figura. Dicho esto, por lo menos para el estado de régimen permanente, el motor de inducción llega a tener características de operación similares a las de un motor DC.

**Figura 33:**

*Características de Torque vs. Frecuencia en control de V/F constante.*



Fuente: Variadores de velocidad, Capítulo III: Variador de velocidad de motor AC – Tecsup, (2014).

## 2.7.2. Etapa de Potencia

### 2.7.2.1. Tipos de variadores de velocidad ac

Los controladores de variadores AC de velocidad ajustable son fabricados en tres tipos: Voltaje de Entrada Variable (VVI), Entrada de Fuente de Corriente (CSI) y Modulación por Ancho de Pulso (PWM). Cada uno tiene características específicas.

#### 2.7.2.1.1. Voltaje de entrada variable (VVI)

Este diseño es en la actualidad muy limitado para aplicaciones especiales, tal como variadores que desarrollan alta velocidad (400 a 3 000 Hz).

El diseño VVI, recibe voltaje AC de alimentación, lo rectifica y controla, desarrollando un voltaje DC variable hacia el amplificador de potencia (etapa inversora).

Luego, la etapa inversora, transforma el voltaje DC variable a frecuencia variable y voltaje variable AC. Esto puede ser realizado por transistores o tiristores de potencia. La salida de voltaje desde una unidad VVI es comúnmente llamada “onda de seis pulsos”.

#### ***2.7.2.1.2. Inversor fuente de corriente (CSI)***

Usado mayormente para potencias superiores a 50HP. Las unidades CSI son bien empleadas para el control de ventiladores y bombas como una alternativa de ahorro de energía para el control de flujo.

Capaces de ofrecer eficiencias cercanas a los variadores DC, el diseño CSI logra economía sobre las unidades VVI y PWM para aplicaciones en bombas, ventiladores y similares. El CSI además ofrece la capacidad de regeneración; es decir, ante una sobre carga, el controlador retorna la energía al sistema AC.

#### ***2.7.2.1.3. Modulación por ancho de pulso (PWM)***

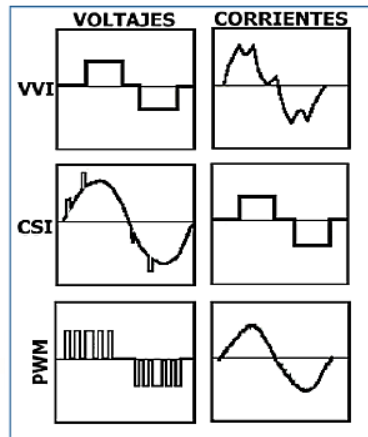
Las unidades PWM, también conocidas como “variadores V/Hz” ofrecen trabajo a cero velocidades. En ocasiones, proporcionan rango de frecuencias cercanas a 200:1. Este rango tan amplio es posible pues el controlador convierte voltaje de entrada AC a un voltaje DC fijo por medio de una etapa de rectificación de potencia.

Luego de esta etapa, el voltaje DC es modulado a través de un inversor para producir pulsos de diferentes anchos, para modificar el voltaje efectivo. A pesar de que el voltaje creado es del tipo es modulado, la forma de onda de la corriente es muy similar a una onda senoidal, alcanzando desempeños mejores que cualquier otro sistema. Las unidades PWM usan transistores bipolares de puerta aislada IGBT.



**Figura 34:**

*Ondas de voltaje y corriente de los tipos de Variadores AC.*



Fuente: Variadores de velocidad, Capítulo III: Variador de velocidad de motor AC – Tecsup, (2014).

Basándonos en las formas de ondas representadas en la figura anterior, se deduce que el variador de velocidad o frecuencia tipo PWM, proporciona mejor calidad de corriente al motor AC (casi sinusoidal), logrando un control de torque más fino. Por este motivo, son los más usados en la industria actual.

La onda de tensión producida por el variador tipo PWM se le conoce como “Seno PWM” y es producto del trabajo a gran velocidad de conmutación (llegando hasta 20 kHz) de los transistores IGBT, los cuales son controlados por microcontroladores y microprocesadores de grandes prestaciones.

### **2.7.2.2. El transistor IGBT**

El transistor bipolar de compuerta aislada (comúnmente llamado IGBT) es el resultado de muchas investigaciones desarrolladas por los fabricantes de dispositivos

electrónicos, con el objetivo de adquirir un dispositivo con una gran velocidad de conmutación, un mínimo consumo de corriente de control y una buena capacidad de soporte a voltajes y corrientes elevados.

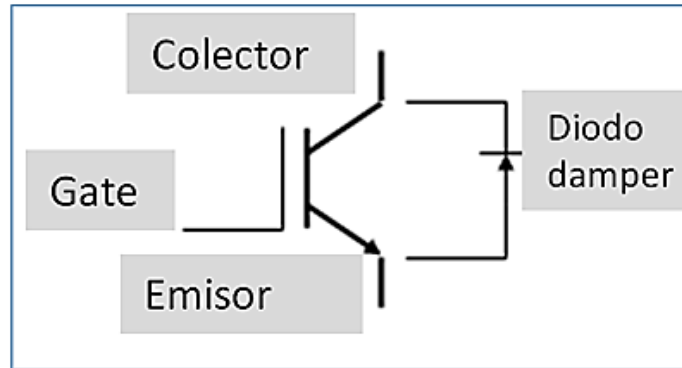
Observe que los terminales Colector-Emisor normalmente vienen con un diodo “Damper” instalado en dicha posición para la protección de estos IGBTs contra cargas inductivas.

Para conmutar un IGBT, se debe aplicar voltaje de un valor determinado a sus terminales de control Gate-Emisor. El consumo de corriente de dicho terminal de control es muy cercano a cero; por ende, se dice que el IGBT no consume corriente. Esto elimina los retardos de tiempo asociados con componentes que consumen corriente de control tal como los transistores bipolares BJT.

Un transistor IGBT actúa rápidamente a los cambios de señal (menores a 1 us), reduciendo los niveles audibles en el motor AC mientras se está controlando la velocidad y el torque. Y, su muy buena frecuencia de conmutación (frecuencia portadora) provee un control de corriente de excelente respuesta dinámica. Además, las pérdidas en un IGBT son muy pequeñas como producto de disponerse en encapsulados compactos dentro del variador de velocidad.

**Figura 35:**

*Símbolo del IGBT y Diodo dámper.*



Fuente: Variadores de velocidad, Capítulo III: Variador de velocidad de motor AC – Tecsup, (2014).

### 2.7.2.3. *El inversor puente trifásico*

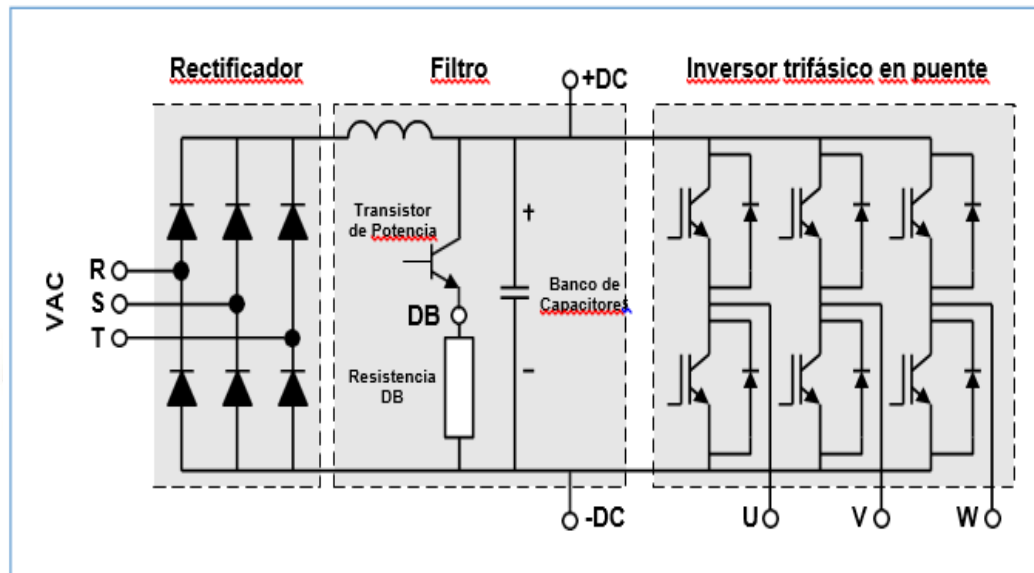
Un motor AC puede ser controlado a velocidades que no son su valor nominal y aun así conservar las características de su torque nominal.

En la imagen se detallan los componentes que forman la etapa de fuerza de todo tipo de variador de frecuencia de motor de jaula de ardilla en la actualidad.



**Figura 36:**

*Símbolo del IGBT y Diodo dámper.*



Fuente: Variadores de velocidad, Capítulo III: Variador de velocidad de motor AC – Tecsup, (2014).

La alimentación de entrada es VAC trifásico o monofásica dependiendo de la potencia del motor de inducción a controlar. Este voltaje AC es rectificado por la etapa rectificadora compuesta medio de un puente de diodos trifásico o monofásico.

En segundo lugar, se tiene la etapa de filtrado formada de un filtro de corriente (inductancia) y un filtro de voltaje (capacitor) con el propósito de tener de una barra DC lo más continua posible (terminales +DC/-DC).

Esta barra DC es la entrada a la etapa inversora, la cual por medio de la acción conmutada de los IGBT la convierte en un voltaje de salida (terminales U, V, W) denominada “Seno-PWM” que cumple con el objetivo de sostener la relación V/F a relación constante.

#### 2.7.2.4. Voltaje *SENO-PWM*

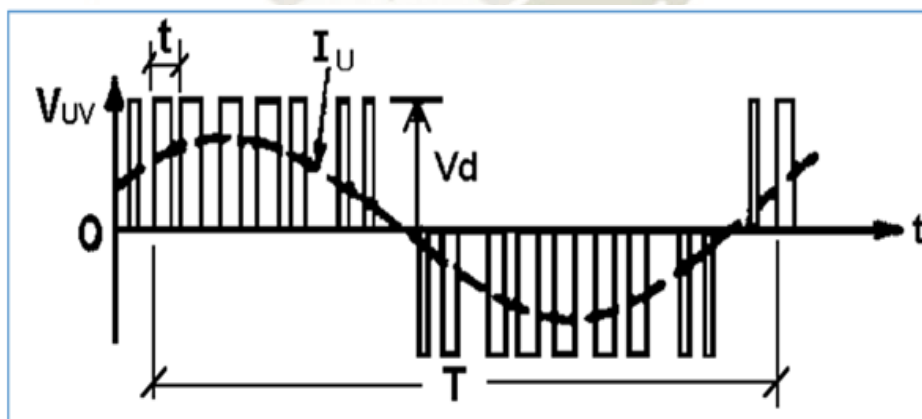
La figura 37 representa de manera detallada la onda “Seno-PWM” de salida del inversor trifásico. La amplitud ( $V_d$ ) es determinada por el valor de la barra de voltaje DC (terminales +DC/- DC de entrada a la etapa inversora).

El motor es alimentado por esta onda de voltaje por los terminales de salida U, V, W y la filtra obteniendo valores de corrientes ( $I_U$ ,  $I_V$ ,  $I_W$ ) de forma muy cercana a senoidal. El promedio del valor de voltaje RMS “V” depende al ancho de los diferentes pulsos y a la frecuencia efectiva “f” determinada por  $1/T$ . La frecuencia de conmutación de los transistores IGBT es determinada por  $1/t$  también llamada “frecuencia portadora”.

El producto es que el motor recibe la relación “V/f” proporcional a sus valores nominales, consiguiendo buen torque a bajas velocidades.

#### Figura 37:

*Voltaje vs. Tiempo del Seno-PWM.*



Fuente: Variadores de velocidad, Capítulo III: Variador de velocidad de motor AC – Tecsup, (2014).

### 2.3.3. Etapa de control

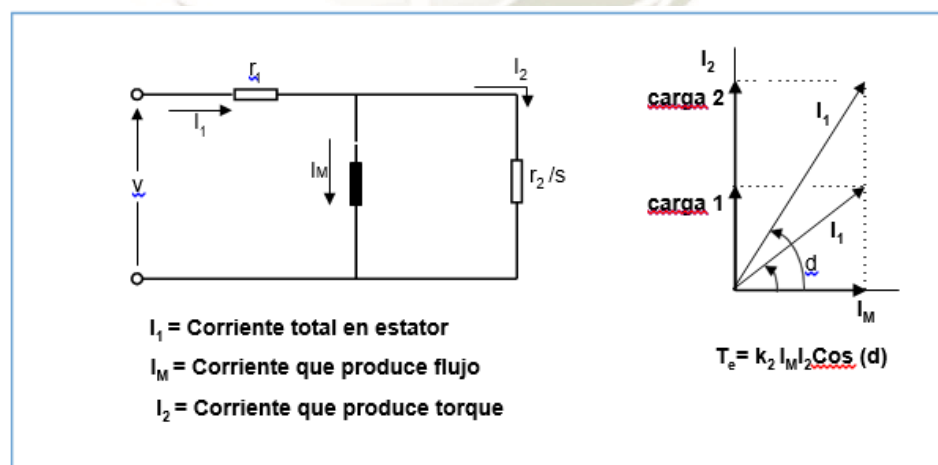
Basándonos con el circuito equivalente por fase de un motor trifásico, observamos que los circuitos de flujo y torque están íntimamente relacionados.

En los bornes del motor CA se tienen tres cables que transportan el vector suma de las corrientes que producen torque y flujo. Esta es el motivo por el cual el control vectorial de un motor AC es más riguroso que el correspondiente a un motor DC. El desafío para el control del variador del motor de inducción es diferenciar ambas corrientes sin la ventaja de tener circuitos separados.

Basándonos en la imagen 38, la corriente del estator  $I_1$  es el vector suma de las corrientes que producen torque  $I_2$  y flujo  $I_M$ . El ángulo entre  $I_2$  e  $I_M$  cambia regularmente bajo diferentes circunstancias. En conclusión, la corriente del estator debe ser regulada con el objetivo de resultar en la corriente de torque solicitada, entretanto la corriente de magnetización debe ser conservarse.

**Figura 38:**

*Corrientes de flujo y torque.*



Fuente: Variadores de velocidad, Capítulo III: Variador de velocidad de motor AC – Tecsup, (2014).



Existen muchos métodos de diseñar el control del variador debido a que se tienen diferentes variables involucradas en el cálculo de las corrientes. Estos contienen bosquejos directos e indirectos. Los esquemas directos calculan el ángulo del flujo del rotor eléctricamente. El control indirecto de observación de campo usa el “feedback” de posición o velocidad del motor y apreciaciones de deslizamiento para proveer comandos instantáneos de flujo y torque.

El circuito PWM de potencia es mayormente usado con tres tipos básicos de reguladores. Son estos reguladores los que definen las capacidades del variador, incluyendo regulación de velocidad debido a cambios transitorios de carga y capacidad de buen torque a bajas velocidades.

#### ***2.3.3.1. Regulador V/F***

Usado en aplicaciones con o sin retroalimentación de velocidad, es la configuración de menor costo y más común. Este prototipo presenta los ajustes básicos de un variador, incluyendo límite de torque, ajuste de velocidad, V/Hz, mínima y máxima velocidad, rampas de aceleración y desaceleración y otras configuraciones semejantes que reúnen los requisitos para la mayoría de aplicaciones en la industria actual.

El control V/F recibe una instrucción de referencia de velocidad desde un agente externo y cambia el voltaje y frecuencia aplicado al motor.

Correspondiente a que mantiene una relación de V/F constante, el variador de frecuencia es capaz de variar la velocidad del motor conectado, pero no de regular el torque.

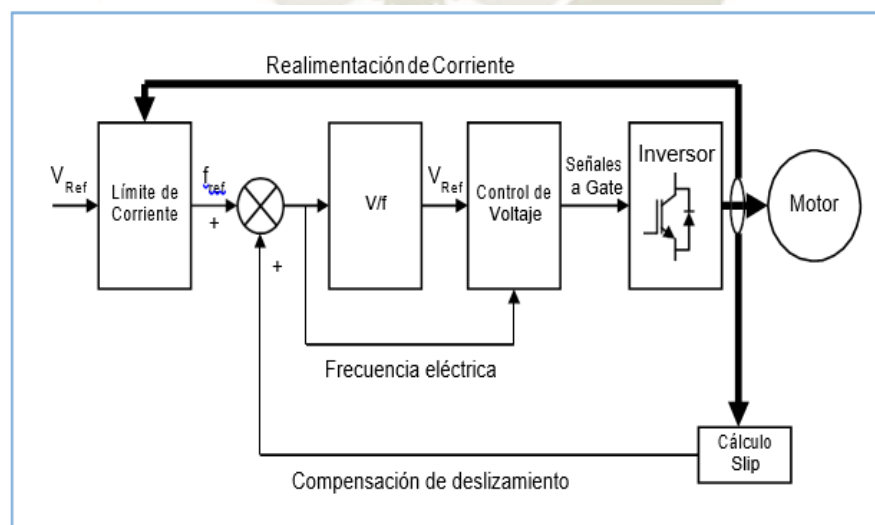
En la figura 39 se muestra el diagrama de bloques del regulador V/F. Es típico encontrar, un limitador de corriente que supervisa la corriente del motor y modifica el comando de frecuencia cuando la corriente en el motor supera el valor predeterminado. El variador solo trabaja con la corriente del estator y no es capaz de diferenciar los límites de capacidad de  $I_M$  de  $I_2$ , además el límite máximo de torque es de 1.5 el valor nominal.

El módulo “compensación de deslizamiento” modifica la referencia de frecuencia cuando la carga se ve modificada para mantener la velocidad real del motor cercana a la velocidad de referencia.

Este tipo de control es adecuado para múltiples usos, pero no es muy útil cuando se requiere gran rapidez de respuesta dinámica, cuando el motor debe desempeñarse a velocidades muy bajas o usos que necesitan control directo del torque del motor en lugar de frecuencia del motor.

**Figura 39:**

*Regulador V/F.*



Fuente: Variadores de velocidad, Capítulo III: Variador de velocidad de motor AC – Tecsup, (2014).

### ***2.3.3.2. Regulador vector básico***

Desarrollado a mediados de 1980, este regulador fue un progreso significativo frente al modelo V/Hz. Cada regulador usa un método de aproximación para regular el ángulo del flujo del rotor-estator y de esta manera optimizar la operación del motor de inducción.

Algunos variadores vectores tenían la perspectiva de lograr regulación de velocidad en lazo abierto semejante a un variador de velocidad de motores DC con realimentación. Si bien estas unidades no se acercaron a estas expectativas, el vector básico ofrece buenos rendimientos.

### ***2.3.3.3. Regulador sensorless vector***

Desarrollado a mediados de 1990, fueron introducidos los reguladores Vector mejorados. Estos poseían los más recientes avances tecnológicos en microprocesadores y DSPs que potenciaron considerablemente las operaciones del variador, incluyendo la capacidad de regulación de posición y respuesta. Una causa por la cual las capacidades del vector funcionaran considerablemente mejor, fue la capacidad de “observar” la EMF (fuerza contra- electromotriz) producida por el motor, entonces la electrónica ajusta el arranque de cada tren de pulsos PWM y la duración específica de cada pulso.

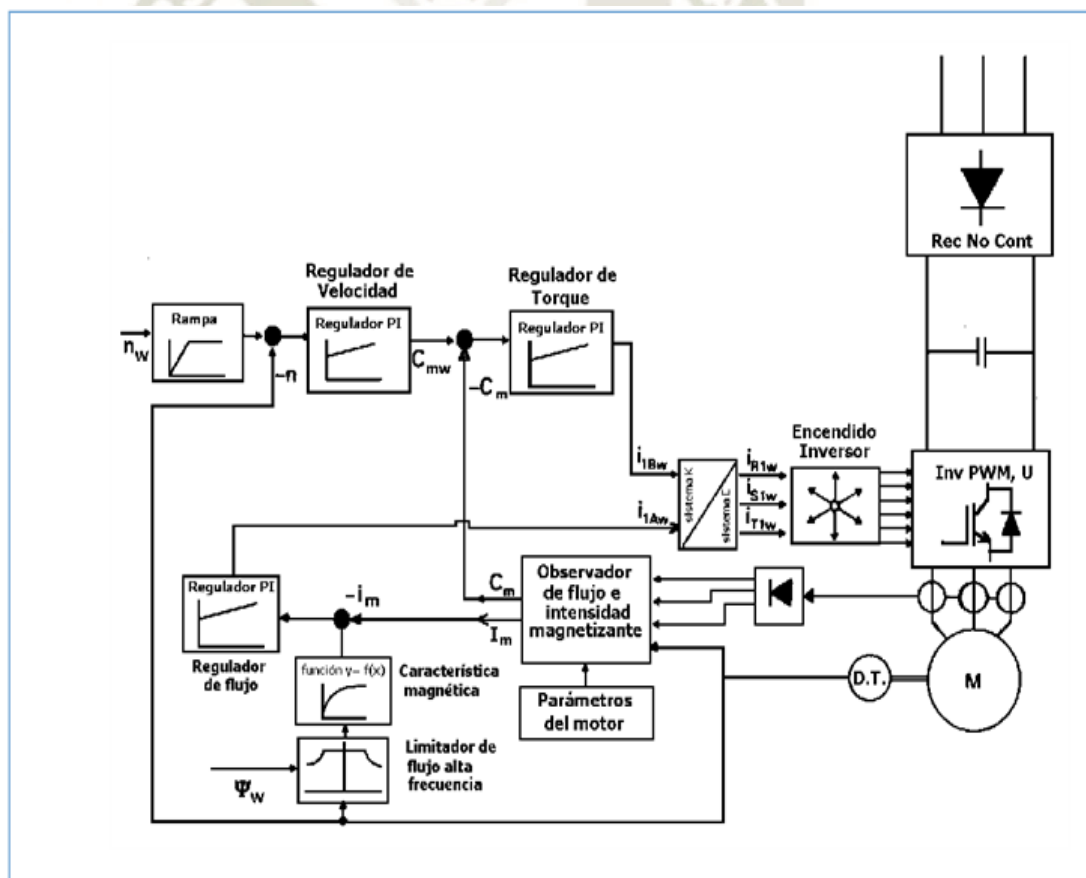
Los variadores Vector se usan en herramientas de impresión de gran velocidad, imprentas, bobinadoras y otros sistemas de maquinarias de trabajo combinado y ordenado. También usados en sistemas de servoposicionamiento, como en las maquinas



ovilladoras. Algunos tienen rampas de aceleración que los llevan desde el reposo a máxima velocidad en tiempos de 1 a 200 ms.

Con estos modelos de variadores, una señal de retroalimentación de posición o velocidad incrementa el desempeño del trabajo del variador. En la figura 40 se aprecia el tipo de regulador vector, en donde se ha preferido obtener la señal de velocidad del motor mediante un dínamo o tacómetro en vez de inclinarse por un observador. Sin embargo, la intensidad magnetizante y el torque producido se consiguen del observador.

**Figura 40:**  
*Regulador sensorless vector.*



Fuente: Variadores de velocidad, Capítulo III: Variador de velocidad de motor AC – Tecsup, (2014).

## CAPITULO III. DISEÑO DEL MÓDULO DE CONTROL

### 3.1. Diseño del Módulo

La fabricación del módulo de control se dividirá de la siguiente manera:

- Diseño Mecánico
- Diseño eléctrico / Electrónico
- Diseño del Sistema de Control

#### 3.1.1. Diseño mecánico

El cual estará subdividido de la siguiente manera:

- Sistema de Bombeo de Agua
  - Diseño y cálculos de la línea de conducción por Bombeo y Gravedad
  - Selección de la electrobomba
  - Dimensionamiento del Tanque de la línea de conducción por Gravedad
  - Selección de material para las tuberías
  - Periféricos

##### *3.1.1.1. Sistema de bombeo de agua*

##### *3.1.1.1.1. Diseño de la línea de conducción por bombeo y gravedad*

El concepto principal utilizado para el tendido o ruta de la tubería se definió a partir de poder alcanzar los siguientes requerimientos:

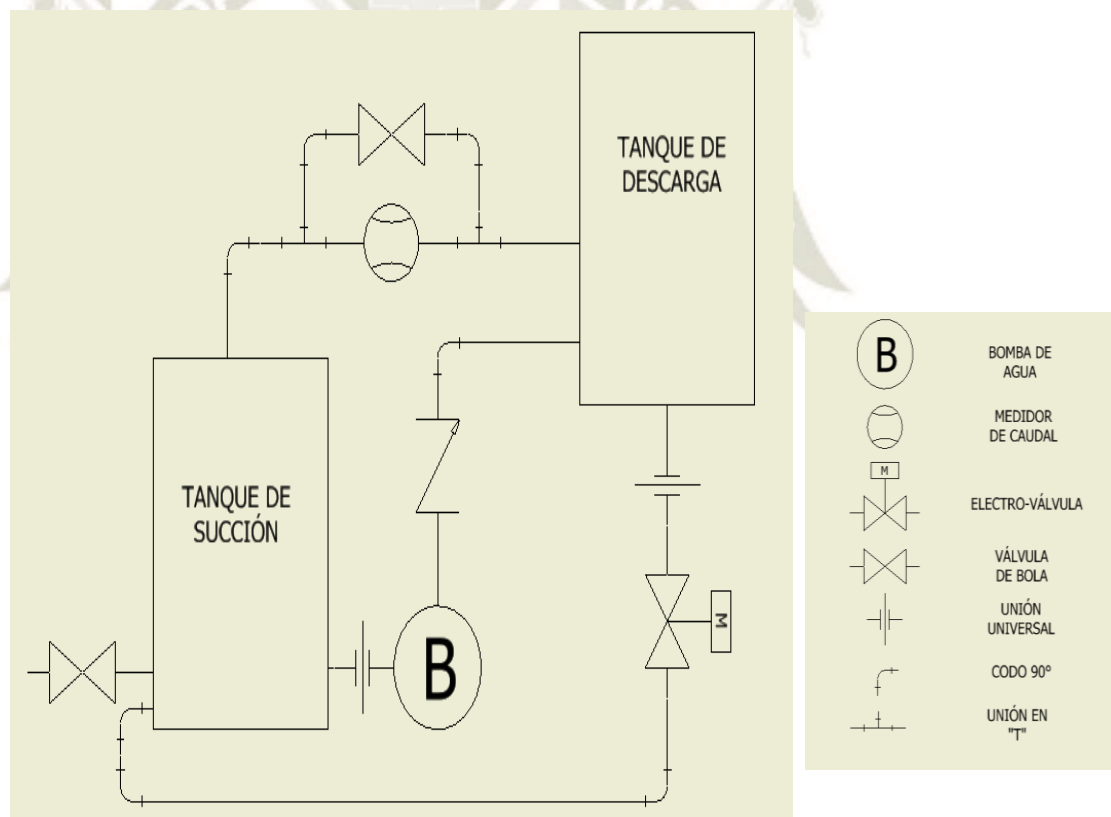
- Accesibilidad: Acceso libre a los equipos de control y medición (Mantenimiento y Operación)

- Flexibilidad: Para poder realizar ampliaciones al módulo actual.
- Perturbaciones: El sistema de tuberías tendrá la capacidad para generar perturbaciones (caídas de presión, desviaciones de caudal) que pondrán a prueba la respuesta del sistema de Control.

En la figura 38 se muestra los principales componentes definidos para el proyecto en desarrollo:

**Figura 41:**

*Principales componentes del módulo de control*



Fuente: Diseño propio, (2019).

El sistema de perturbación está compuesto por una línea paralela al sensor de caudal, dicha configuración permitirá generar una desviación entre el caudal que pasa a



través del caudalímetro y la descarga real del tanque que es calculada a partir del nivel de agua de él mismo.

Tanto la señal de cauda y de nivel son tomadas por el PLC el cual deberá de acuerdo a lo lógica cargada establecer los parámetros de control necesarios para alcanzar el setting de cauda o altura requerido.

### 3.1.1.1.2. Selección de la electrobomba

De todos los criterios descritos en el capítulo II, de acuerdo a nuestro sistema (desarrollo del presente proyecto) se tomaron los siguientes:

#### a. Cálculos del sistema:

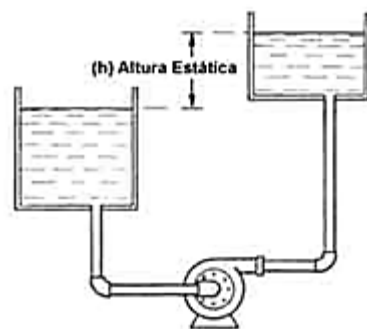
- **Cálculo de la altura del sistema:**

- **Altura estática**

De acuerdo al módulo construido

#### Figura 42:

*Cálculo altura estática del sistema*



$$H_e = 1 \text{ m}$$

Fuente: <https://www.ingenierocivilinfo.com/2011/11/nociones-generales-sobre-bombeo.html>, (SF).

- **Cálculo altura por pérdidas en función del caudal:**

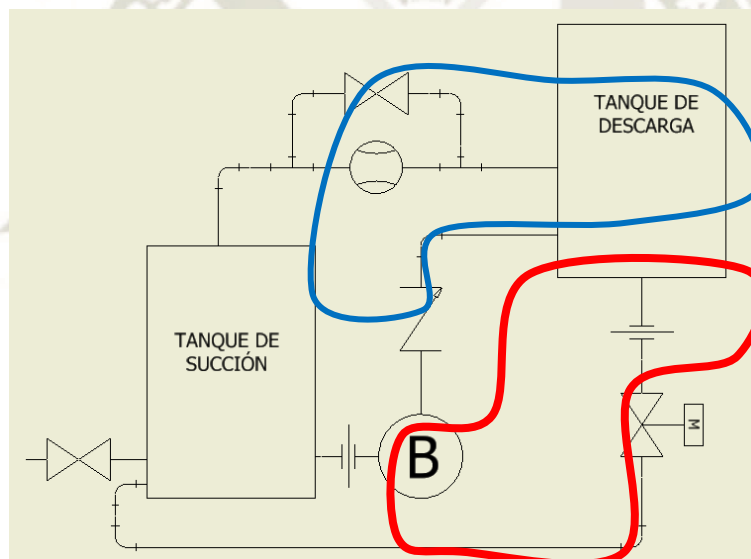
El sistema total se dividirá en 2 subsistemas, Sistema de línea de conducción por Bombeo y Sistema de línea de conducción por Gravedad (Ver figura 40).

Sistema de conducción por Bombeo ( — ): Constituido por Tanque de Succión – Bomba – Tanque de Descarga.

Sistema de conducción por Gravedad ( — ): Constituido por Tanque de Descarga – Caudalímetro – Tanque de Succión.

**Figura 43:**

*Sub-Sistema sistema de bombeo*



Fuente: Diseño Propio, (2019)

Para la correcta selección de la electrobomba, se analizará el sistema de conducción por bombeo:

- **Cálculo de las pérdidas secundarias o menores**

Tomando la ecuación para diseño de líneas de conducción por Bombeo

$$\left( z_1 + \frac{V_1^2}{2 * g} + \frac{P_1}{\gamma} \right) - \left( z_2 + \frac{V_2^2}{2 * g} + \frac{P_2}{\gamma} \right) = H_f + H_B \dots (YY)$$

Donde  $H_f$  (Ecuación XX):

$$H_f = h_f + h_a$$

$$H_f = \left( f \frac{L}{D} + \sum K + f \frac{\sum l e q}{D} \right) \cdot \frac{8 \cdot Q^2}{\pi^2 \cdot D^4 \cdot g} \dots (XX)$$

**Tabla 5:**

*Listado de Materiales de la línea de conducción por Bombeo*

Listado de Materiales Línea de conducción por Bombeo				
ítem	Descripción	Diametro (pulg)	Cantidad	Unidad
01	Tubería	1 1/2	1.2	M
02	Codo 90°	1 1/2	1	EA
03	Válvula de Bola	1 1/2	1	EA
04	Válvula Check	1 1/2	1	EA
05	Uniones Universales	1 1/2	2	EA

Fuente: Diseño propio, (2020).

Para poder hallar la cantidad de pérdidas por menores en el sistema, se recurrió a las tablas de Factor o coeficiente “K” para accesorios importantes conectados a la tubería.



**Tabla 6:***Coefficiente de pérdidas para válvulas abiertas, codos y "T"*

Diámetro Nominal (In)									
Válvulas Abiertas									
Tipos de Válvula	Roscado					Acoplado			
	1/2	1	2	4	1	2	4	8	20
Globo	14	8.2	6.9	5.7	13	8.5	6	5.8	5.5
Compuerta	0.3	0.24	0.16	0.11	0.8	0.35	0.16	0.07	0.03
De retención	5.1	5.1	2.9	2.1	2	2	2	2	2
De Ángulo	9	4.7	2	1	4.5	2.4	2	2	2
Codos									
Codos	Roscado					Acoplado			
	1/2	1	2	4	1	2	4	8	20
45 ° Normal	0.39	0.32	0.3	0.29	-	-	-	-	-
45 ° Suave	-	-	-	-	0.21	0.2	0.19	0.16	0.14
90 ° Normal	2	1.5	0.95	0.64	0.5	0.39	0.3	0.26	0.21
90 ° Suave	1	0.72	0.41	0.23	0.4	0.3	0.19	0.15	0.1
180 ° Normal	2	1.5	0.95	0.64	0.41	0.35	0.3	0.25	0.2
180 ° Suave	-	-	-	-	0.4	0.3	0.21	0.15	0.1
Uniones en "T"									
Uniones en "T"	Roscado					Acoplado			
	1/2	1	2	4	1	2	4	8	20
Flujo Directo	0.9	0.9	0.9	0.9	0.24	0.19	0.14	0.1	0.07
Flujo Lateral	2.4	1.8	1.4	1.1	1	0.8	0.64	0.58	0.41

Fuente: Mecánica de fluidos, White Frank, (2004).

**Tabla 7:***Factores "K" para accesorios*

Accesorio	Diámetro Nominal (Pulg)											
	1/2	3/4	1	1 1/2	2	3	4	5	6	8 - 10	12 - 16	18 - 24
Válvula de compuerta (Abierta)	0.22	0.2	18	0.15	0.15	0.14	0.14	0.13	0.12	0.11	0.1	0.096
Válvula de Globo (Abierta)	9.2	8.5	7.8	7.1	6.5	6.1	6.1	5.4	5.1	4.8	4.4	4.1
Codo estándar 90°	0.8	0.75	0.69	0.63	0.57	0.54	0.54	0.48	0.45	0.42	0.39	0.36
Codo estándar 45°	0.43	0.4	0.37	0.34	0.3	0.29	0.29	0.26	0.24	0.22	0.21	0.19
"T" estándar (Flujo recto)	0.54	0.5	0.46	0.42	0.38	0.36	0.36	0.32	0.3	0.28	0.26	0.24
"T" estándar (Flujo cruzado)	1.62	1.5	1.38	1.26	1.14	1.08	1.08	0.96	0.9	0.84	0.78	0.72

Fuente: Mecánica de fluidos, H. Shames Irving (1995)

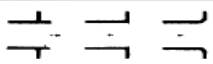

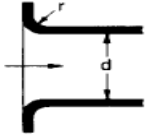
Para el cálculo de pérdidas en reducciones y uniones universales tenemos:

De acuerdo a lo indicado en el Libro Cameron Hidraulic Data, el factor “K” para uniones universales se considera el promedio de un conjunto de entradas y salidas de tuberías:

**Tabla 8:**

*Factor “K” para uniones Universales*

**INGERSOLL-RAND CAMERON HYDRAULIC DATA**

Friction of Water (Continued) Friction Loss in Pipe Fittings Resistance coefficient ( use in formula $h_r = K \frac{V^2}{2g}$ )		
Fitting	Description	All pipe sizes
		K value
Pipe exit 	projecting sharp edged rounded	1.0
Pipe entrance 	inward projecting	0.78
Pipe entrance flush 	sharp edged	0.5
	r/d = 0.02	0.28
	r/d = 0.04	0.24
	r/d = 0.06	0.15
	r/d = 0.10	0.09
	r/d = 0.15 & up	0.04

From Crane Co. Technical Paper 410.

Fuente: Cameron Hidraulic Data, C.R. Westaway A.W. Loomys, (1984).

Port lo tanto, tenemos:

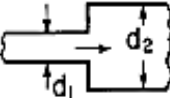
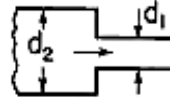
$$K_{Universales} = 0.89$$



Tabla 9:

Factor "K" en reducciones

**Friction Loss Due to Change in Pipe Size—Feet of Liquid**  
**Loss of head in ft of liquid**                      **Based on velocity in smaller pipe**

Sudden Enlargements 										Sudden Contractions 									
Velocity of d1 fps	d1/d2									d1/d2									Velocity of d1 fps
	0.9	0.8	0.7	0.6	0.5	0.4	0.3	0.2	0.1	0.9	0.8	0.7	0.6	0.5	0.4	0.3	0.2	0.1	
2	.00	.01	.02	.03	.03	.04	.05	.06	.06	.01	.01	.02	.02	.02	.03	.03	.03	.03	2
3	.01	.02	.04	.06	.08	.10	.12	.13	.14	.01	.03	.03	.04	.05	.06	.06	.07	.07	3
4	.01	.03	.06	.10	.14	.17	.21	.23	.24	.02	.04	.06	.06	.09	.10	.11	.12	.12	4
5	.01	.05	.10	.16	.22	.27	.32	.36	.38	.04	.07	.10	.12	.15	.16	.18	.19	.19	5
6	.02	.07	.15	.23	.31	.39	.46	.51	.55	.05	.10	.14	.16	.21	.23	.26	.27	.28	6
7	.03	.10	.20	.31	.43	.53	.63	.70	.75	.07	.14	.19	.24	.29	.32	.36	.37	.38	7
8	.04	.13	.26	.41	.56	.70	.83	.92	.97	.09	.18	.25	.32	.38	.42	.46	.48	.50	8
9	.05	.16	.33	.52	.70	.88	1.04	1.16	1.23	.12	.23	.31	.40	.48	.53	.56	.60	.63	9
10	.06	.20	.40	.64	.87	1.09	1.29	1.43	1.52	.15	.28	.38	.50	.59	.65	.71	.75	.77	10
12	.08	.29	.58	.92	1.25	1.57	1.86	2.06	2.19	.21	.40	.56	.72	.85	.94	1.03	1.07	1.12	12
15	.13	.45	.91	1.43	1.96	2.45	2.90	3.22	3.43	.33	.63	.87	1.12	1.33	1.47	1.61	1.68	1.75	15
20	.22	.80	1.62	2.56	3.48	4.35	5.16	5.72	6.09	.59	1.12	1.55	1.99	2.36	2.61	2.86	2.98	3.10	20
25	.35	1.26	2.53	3.98	5.44	6.80	8.06	8.94	9.52	.92	1.75	2.43	3.11	3.69	4.08	4.47	4.66	4.86	25
30	.50	1.82	3.64	5.73	7.83	9.79	11.6	12.9	13.7	1.32	2.52	3.50	4.48	5.31	5.67	6.03	6.21	6.48	30
40	.90	3.23	6.46	10.2	13.9	17.4	20.6	22.9	24.4	2.36	4.48	6.22	7.96	9.45	10.4	11.4	11.8	12.4	40
K value	.036	0.13	0.26	0.41	0.56	0.70	0.83	0.92	0.98	.095	0.18	0.25	0.32	0.38	0.42	0.46	0.46	0.50	K value

Friction of Water (Continued)

FRICION - WATER-PIPE FITTINGS

8-117

Calculated from formula  $h_f = K \frac{V^2}{2g}$                       For sudden enlargements  $K = \left(1 - \frac{d_1^2}{d_2^2}\right)^2$                       For sudden contractions  $K = 0.5 \left(1 - \frac{d_1^2}{d_2^2}\right)$

Example: Assume  $d_1 = 8"$ ;  $d_2 = 10"$ ; velocity  $d_1 = 10$  fps.  $\frac{d_1}{d_2} = 0.80$

From chart: for sudden enlargements:  $h_f = 0.64$  feet  
 from sudden contractions:  $h_f = 0.50$  feet

Fuente: Cameron Hidraulic Data, C.R. Westaway A.W. Loomys, (1984).

De acuerdo al cuadro anterior, para la reducción (ampliación):

$$k = \left(1 - \frac{d_1^2}{d_2^2}\right)^2 = \left(1 - \frac{0.0254^2}{0.0381^2}\right)^2 = 0.31$$

Finalmente, preparamos un cuadro con el total de pérdidas secundarias:

**Tabla 10:**

*Pérdida total en accesorios*

Perdidas en Accesorios					
Item	Descripción	Diámetro (pulg)	Cantidad	Unid	Perdidas Parcial
1	Codo 90	1 1/2	1	EA	0.63
2	Válvula de Bola	1 1/2	1	EA	7.1
3	Válvula Check	1 1/2	1	EA	2.5
4	Uniones Universales	1 1/2	2	EA	1.78
5	Reducciones	1 -1/2	1	EA	0.31
6	Entrada	1	1	EA	0.78
7	Salida	1 1/2	1	EA	1
8	Válvula de Bola semi	1 1/2	1	EA	18

Fuente: Diseño *Propio*, (2020).

– **Cálculo de las pérdidas primarias o mayores**

Para el cálculo de las pérdidas primarias, haremos uso del diagrama de Moody:

$$D = 1 \frac{1}{2} \text{", Acero comercial}$$

$$Re = \frac{v_s * D}{\nu} = \frac{4.39 \text{ m/s} * 0.0381 \text{ m}}{1 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}}$$

$$Re = 167259$$

De la figura 42 tenemos que:

$$f = 0.03$$

Reemplazando (XX) en (YY) y despejando  $H_B$  tenemos:

$$H_B = \frac{P_2 - P_1}{\gamma} + Z_2 - Z_1 + \frac{V_2^2 - V_1^2}{2g} + \left( f \frac{L}{D} + \sum K + f \frac{\sum l e q}{D} \right) \cdot \frac{8 \cdot Q^2}{\pi^2 \cdot D^4 \cdot g}$$

Reemplazando  $f$  y el total de pérdidas por accesorios (hallado en el punto anterior), tenemos:

$$H_B = 1 + \left( f * \frac{1.2}{0.0381} + 12.01 \right) \cdot \frac{8 \cdot Q^2}{\pi^2 \cdot 0.0381^4 \cdot 9.81 \frac{m}{seg^2}}$$

$$H_B = 1 + * 1262417 Q^2$$

**Tabla 11:**

Valores para construcción de la curva del Sistema

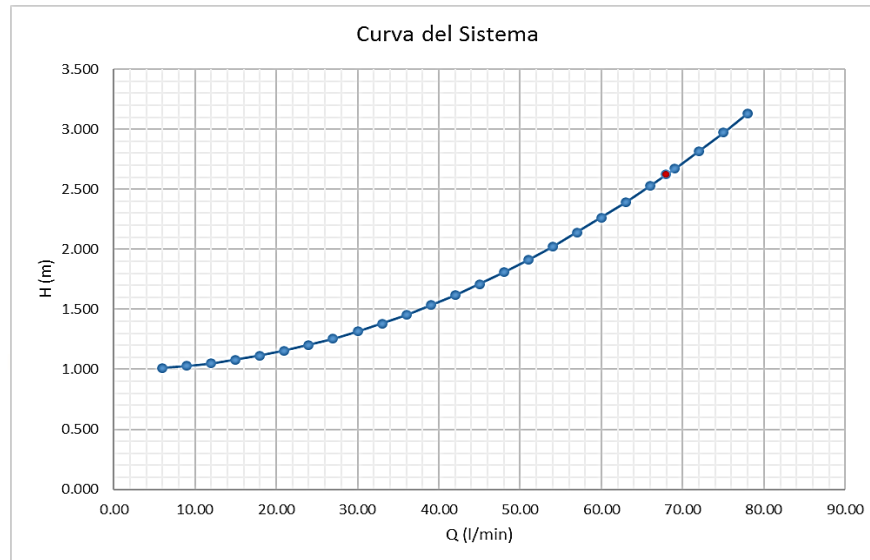
Curva del Sistema			
Q	Q	Q	H
(l/s)	(l/min)	(m <sup>3</sup> /s)	(m)
0.10	6	0.00010	1.013
0.15	9	0.00015	1.028
0.20	12	0.00020	1.050
0.25	15	0.00025	1.079
0.30	18	0.00030	1.114
0.35	21	0.00035	1.155
0.40	24	0.00040	1.202
0.45	27	0.00045	1.256
0.50	30	0.00050	1.316
0.55	33	0.00055	1.382
0.60	36	0.00060	1.454
0.65	39	0.00065	1.533
0.70	42	0.00070	1.619
0.75	45	0.00075	1.710
0.80	48	0.00080	1.808
0.85	51	0.00085	1.912
0.90	54	0.00090	2.023
0.95	57	0.00095	2.139
1.00	60	0.00100	2.262
1.05	63	0.00105	2.392
1.10	66	0.00110	2.528
1.13	67.8	0.00113	2.622
1.15	69	0.00115	2.670
1.20	72	0.00120	2.818
1.25	75	0.00125	2.973
1.30	78	0.00130	3.133

Fuente: *Diseño Propio, (2019).*



**Figura 44:**

*Curva del Sistema*



Fuente: Propia, (2019).

Reemplazando los caudales de Operación en la curva ( $H_B$ ), tenemos que:

$$\text{Con } Q_{max} = 68 \frac{l}{min} \text{ tenemos } H_B = 2.6 m$$

$$H_B = 3 m$$

Para poder determinar la potencia de la bomba, haremos uso de la siguiente

formula:

$$P_B = \frac{\gamma \cdot Q \cdot H_B}{76 \cdot \eta}$$

**Donde:**

$$\gamma = \text{Peso específico del Líquido } \left( \frac{N}{m^3} \right)$$

$$Q = \text{Caudal del líquido } \left( \frac{m^3}{s} \right)$$

$$H_B = \text{Altura que alcanza la bomba (m)}$$

$$\eta = \text{Eficiencia (Sugerencia por fabrica 0.8)}$$

$$P_B = \frac{1000 \text{ Kg-f} / \text{m}^3 * 3 \text{ m} * 0.00113 \text{ m}^3 / \text{s}}{76 * 0.8}$$

$$P_B = 0.05 \text{ HP}$$

Considerando para la potencia de motor:

$$P_M = 1.2 * P_B$$

$$P_M = 0.067 \text{ HP}$$

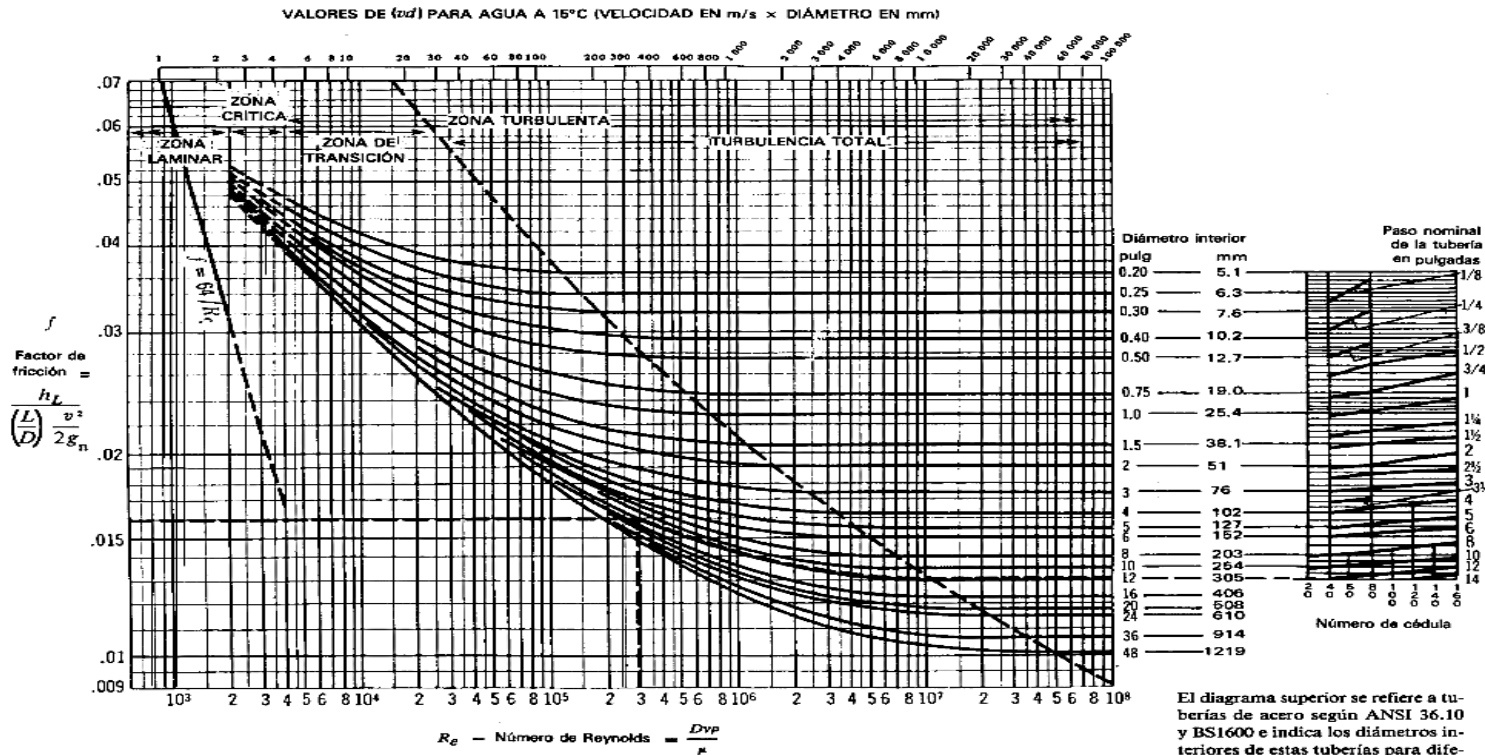
De acuerdo a los resultados obtenidos, con una bomba de potencia de 1 HP será suficiente para cubrir con la demanda del sistema.

$$P_B = 1 \text{ HP}$$

Las características de la bomba seleccionada se describen en la sección 3.1.1.1.2.4.

Figura 45:

Cálculo de facto de fricción "f" para pérdidas primarias



**Problema:** Determinese el factor de fricción para una tubería de 12 pulgadas, Cédula 40, para un flujo con Número de Reynolds = 300 000.  
**Solución:** El factor de fricción (f) es igual a 0.016.

Adaptación de datos extraídos de la referencia 18 de la Bibliografía.

El diagrama superior se refiere a tuberías de acero según ANSI 36.10 y BS1600 e indica los diámetros interiores de estas tuberías para diferentes números de cédula. Para otras tuberías de acero comerciales, hállese el diámetro interior y véase sólo la gráfica principal.

Fuente: Cameron Hydraulic Data, C.R. Westaway A.W. Loomys, (1984).

**b. Niveles de operación:**

Para fines de desarrollo del presente proyecto, definidos el Caudal máximo en el sistema:

$$Q_{max} = 68 \frac{l}{min}$$

El caudal máximo en el sistema de bombeo por Gravedad dependerá del caudal máximo que la bomba agua arriba pueda suministrar, por ello, se evaluó diferentes curvas de operación de diferentes marcas de bombas que se encuentran en el mercado (caudales y alturas).

Con ello, evitamos sobredimensionar el sistema y por ende la selección de bombas grandes.

**c. Características del fluido:**

Agua potable a temperatura Ambiente 25°.

**Tabla 12:**

*Características principales del Agua*

Características del Agua	
Peso específico	1000 kg/m <sup>3</sup>
Densidad	1 g/c.c - 4°C
Punto de congelación	0°C
Punto de Ebullición	100°C
Presión crítica	217.5 atm
Temperatura crítica	374 °C

Fuente:

[https://www.frro.utn.edu.ar/repositorio/catedras/civil/ing\\_sanitaria/Ingenieria\\_Sanitaria\\_A4\\_Capitulo\\_03\\_Caracteristicas\\_del\\_Agua\\_Potable.pdf](https://www.frro.utn.edu.ar/repositorio/catedras/civil/ing_sanitaria/Ingenieria_Sanitaria_A4_Capitulo_03_Caracteristicas_del_Agua_Potable.pdf), (SF).



### 3.1.1.1.3. Dimensionamiento del tanque de la línea de conducción por gravedad

Para poder dimensionar el Tanque de abastecimiento para la línea de conducción por Gravedad (Tanque de descarga), tomamos como dato el  $Q_{max}$  definido en la sección 3.1.1.1.2.:

$$Q_{max} = 68 \frac{l}{min}$$

De la ecuación Anterior:

$$Q = A * C_d * \sqrt{2 * g * h}$$

Consideramos  $C_d = 1$  y  $D_{Tubería} = \frac{3}{4}$ " , tenemos:

$$h = \frac{1}{2 * g} * \left(\frac{Q}{A}\right)^2$$

$$h = \frac{1}{2 * 9.81 \frac{m}{s^2}} * \left(\frac{0.0068 \frac{m^3}{s}}{\frac{\pi}{4} * (0.0381)^2 m^2}\right)^2$$

$$h = 1 m$$

A fin de que la variación del nivel pueda ser visualizada con facilidad se definió la sección del Tanque:

$$L1 = 0.25 m$$

$$L2 = 0.25 m$$

El tanque de almacenamiento será de plancha de metal con una ranura en uno de sus lados sellado con acrílico para visualizar la variación del nivel del líquido dentro de él.

#### 3.1.1.1.4. Selección tanque de la línea de conducción por bombeo

Para el caso del tanque de la línea de bombeo se seleccionó un tanque de material de polietileno por presentar características interesantes para el proyecto.

Casamyers, SF identifica las siguientes características:

- Resistencia a golpes, impacto.
- Es muy ligero.
- Flexible, elástico.
- Resistente a la corrosión.
- Vida útil bastante larga.

#### **Figura 46:**

*Tanque de polietileno*



Fuente: [https://www.casamyers.com.mx/item/28300832/\\_blank](https://www.casamyers.com.mx/item/28300832/_blank), (SF).

### ***3.1.1.1.5. Selección del material para las tuberías***

Existen muchas variedades y tipos de tuberías para que son utilizadas para sistemas de conducción de Agua. En la tabla 14 se muestra un listado con las principales características de las mismas.

Los criterios tomados para la selección del material fueron descritos en el capítulo II del presente proyecto:

1. Bajo Costo
2. Características mecánicas
3. Resistencia a la corrosión.
4. Facilidad de Instalación
5. Vida Útil.

Si bien es cierto, las tuberías de acero Inoxidables son las que presentan las mejores características (mecánicas, resistencia a la corrosión y vida útil), estos resultan ser un de un costo demasiado elevado y además de ello, son difíciles de trabajar, es decir, dificultad en la instalación.

Es por ello, que se decidió como mejor alternativa para el material de las tuberías las de Acero Galvanizado A – 53 Tipo F grado A (Menor costo y facilidad en la instalación).

**Tabla 13:***Materiales de Fabricación para Tuberías*

MATERIALES DE FABRICACIÓN PARA TUBERÍAS		
ÍTEM	DESCRIPCIÓN	PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS
1	Cobre	<p>Tuberías con acabado exterior brillante y reluciente, pero de diámetros pequeños (3/8 a menos).</p> <p>Excelente resistencia a la corrosión y alta resistencia mecánica (Golpes) y poca resistencia al paso del fluido (menor caída de presión).</p> <p>Comparadas con las tuberías de plástico tiene un elevado costo.</p>
2	Acero Galvanizado	<p>La tubería de acero galvanizado es una tubería de acero (estirado o con soldadura), el cual ha sido sometido a un proceso de galvanizado interior y exteriormente. Dicho proceso ayuda a evitar la oxidación del metal, permitiendo que puedas dar mantenimiento preventivo en caso de que notes procesos de oxidación en el metal con el que esta manufacturado este tipo de cañería. Son mucho más económicas que el acero inoxidable.</p>
3	Hierro Negro	<p>Diseñada y utilizada para instalaciones de Gas.</p>
4	CPVC (Cloruro de Polivinilo Clorurado)	<p>Útiles para la conducción del líquido con altas temperaturas y presiones, por lo que las puedes utilizar para suministrar agua fría o agua caliente. Posee amplia variedad de usos ya que su diámetro es similar al de las tuberías de cobre.</p>
5	PEX (Polietileno Interconectado)	<p>Tuberías de plástico flexibles, resistente mecánicamente y resistente a la corrosión, puede llegar a soportar temperaturas por debajo de las 32 a 200°F.</p> <p>Esta hecho en base a polímero de HDPE y utilizado comúnmente para tuberías de calor de radiadores y suministro de agua.</p>
6	Acero Inoxidable	<p>Posee altos niveles de Níquel y Molibdeno, el cual lo provee de excelentes características de durabilidad y resistencia a la corrosión.</p> <p>Mejores características (mayor resistencia a la temperatura y presión) siendo más pequeños. Son de elevado costo.</p>

Fuente: *Diseño Propio, (2020).*



Las principales características del Acero Galvanizado A – 53 Tipo S grado B

**Figura 47:**

*Composición Química Acero galvanizado A – 53 Tipo S*

Grados	Carbono % Máx.	Manganeso % Máx.	Fósforo % Máx.	Azufre % Máx.	Cobre % Máx.	Níquel % Máx.	Cromo % Máx.	Molibdeno % Máx.	Vanadio % Máx.
A	0.25	0.95	0.05	0.045	0.40	0.40	0.40	0.15	0.08
B	0.30	1.20	0.05	0.045	0.40	0.40	0.40	0.15	0.08

Fuente: [http://www.tubacero.es/resources/upload/link/tubacero\\_catalogo\\_general.pdf](http://www.tubacero.es/resources/upload/link/tubacero_catalogo_general.pdf), (SF).

**Figura 48:**

*Características mecánicas*

	Tipo F	Tipos E y S	
		Grado A	Grado B
Tensión de Rotura, mín, psi (Mpa.)	48.000 (330)	48.000 (330)	60.000 (415)
Límite Elástico, mín, psi (Mpa.)	30.000 (205)	30.000 (205)	35.000 (240)
Alargamiento (% en 2")	Se calcula a partir de una fórmula establecida por ASTM cuyos parámetros son: el área de la sección de la probeta utilizada y la tensión de rotura.		

Fuente: [http://www.tubacero.es/resources/upload/link/tubacero\\_catalogo\\_general.pdf](http://www.tubacero.es/resources/upload/link/tubacero_catalogo_general.pdf), (SF).

### 3.1.2. Diseño eléctrico - electrónico

Como punto de partida para la selección de los equipos y componentes electrónicos, se tiene como base la cantidad de señales y el tipo de las mismas, para la cual tenemos:

#### 3.1.2.1. Selección de sensores y actuadores:

- **Sensor de Caudal (analógico):**

Utilizado para medir el caudal o gasto volumétrico del agua, Naylamp

Mechatronics, SF menciona las siguientes características:

- Modelo YF – DN50, tipo turbina.
- Voltaje de Operación: 5 – 18 V.
- Consumo de corriente: 15 mA.
- Salida: Onda cuadrada pulsante.
- Rosca externa: 2 pulg NPS.
- Presión de trabajo: 1.75 MPA (17 bar).

**Figura 49:**

*Sensor de caudal YF – DN50*



Fuente: <https://naylampmechatronics.com/sensores-liquido/352-sensor-de-flujo-de-agua-2-yf-dn50.html>, (SF).

Mayor información en Datasheet colocado en la sección de Anexos.

- **Sensor de Nivel (analógico).**

Para la medición y control del nivel de agua dentro del reservorio de descarga se utilizará un sensor del tipo ultrasonido, dentro de los distintos modelos se utilizará el modelo JSN-SR04-2.0, luego de las diferentes pruebas realizadas fue el que mejores resultados mostró con errores muy pequeños menores a 0.5 cm.

**Naylamp Mechatronics, SF menciona las siguientes características del sensor seleccionado:**

- Modelo: JSN-SR04-2.0
- Voltaje de Operación: 3.0 -5.5V DC
- Corriente de trabajo: Menor a 8mA
- Rango de detección: 20cm-600cm
- Resolución: 1 mm
- Frecuencia de emisión acústica: 40KHz
- Ángulo de medición: 75°
- A prueba de agua (sensor)
- Diámetro: 22mm
- Dimensión del PCB: 42 x 29 x 12 mm
- Temperatura de trabajo: -20°C hasta 70°C

**Figura 50:**

*Sensor ultrasonido JSN-SR04-2.0*



Fuente: <https://naylampmechatronics.com/sensores-proximidad/326-sensor-ultrasonido-jsn-sr04t.html>, (SF).

Mayor información en Datasheet colocado en la sección de Anexos.



- **Sensor ON / OFF de nivel alto y bajo (digital):**

Para poder tener control en los puntos máximos y mínimos de los tanques de almacenamiento, paradas de emergencia nivel muy alta (inundación) o muy bajo (cavitación de la bomba) es necesario la instalación de sensores de nivel líquido horizontales (características del tanque) que permitan dichas protecciones, requerimientos mínimos:

- Bajo costo
- Tipo Boya o flotador.
- Eje Horizontal
- Aislamiento para Agua.
- Voltaje: 24 VDC

En el mercado, podemos encontrar sensores de diferentes modelos (horizontal, vertical), marcas y precios, debido a la disponibilidad y a que se cumplía con los requerimientos mínimos descritos en el punto anterior el sensor seleccionado fue:

**Naylamp Mechatronics, SF menciona las siguientes características:**

- Interruptor flotador o boya de nivel.
- Aislamiento a prueba de agua.
- Voltaje máximo: 100 VDC /AC
- Corriente Máxima: 0.5 A.
- Carga Máxima: 10W.
- Cable de 30 cm.



**Figura 51:**

*Interruptor flotador o boya de nivel*



Fuente: <https://naylampmechatronics.com/sensores-liquido/84-sensor-de-nivel-de-liquido-horizontal.html>, (SF).

- **Actuador ON / OFF descarga del tanque (digital).**

Ante una parada de emergencia el nivel del líquido del tanque de descarga deberá ser evacuado lo antes posible, por ello se utilizará una válvula solenoide que permitirá tal acción, por tal, se definen como requerimientos mínimos:

- Bajo costo
- Diámetro:  $\frac{3}{4}$  de Pulgada
- Voltaje: 220 V
- Normalmente Cerrada (NC)

Luego de evaluar varias opciones en el mercado local y que cumpla las características anteriormente mencionadas, se seleccionó el siguiente modelo.

**Naylamp Mechatronics, SF** menciona las siguientes características

**principales:**

- Válvula solenoide de baja presión.
- Voltaje de Operación 220 VAC.
- Tamaño de tubería PT ¾ pulg.
- Normalmente cerrada (NC).
- Factor de flujo CV: 7.6
- Presión máxima: 10 Kg/cm<sup>2</sup>

**Figura 52:**

*Válvula solenoide de baja presión*



Fuente: <https://naylampmechatronics.com/valvulas/436-valvula-solenoide-34-baja-presion-220vac.html>, (SF):

Para la selección de los componentes principales y auxiliares se ha considerado

lo siguiente:

- **Controlador lógico programable:**
  - Bajo costo.
  - Velocidad de procesamiento:
  - Memoria: 2 Mbyte como mínimo
  - Número de E/S digitales: 08 / 06 del tipo relays respectivamente
  - Protocolo de comunicación: MODBUS RTU o adaptable.
  - Flexibilidad en la programación.
  - Compacto y con alta confiabilidad.
- **Variador de Velocidad:**
  - Potencia: 0.5 HP
  - Alimentación de Entrada: 220V Monofásica.
  - Alimentación de Salida: 220 Trifásica.
  - Protocolo de comunicación: MODBUS RTU
- **Tarjeta de adquisición de datos:**
  - Número de E/S digitales: 04
  - Protocolo de comunicación: MODBUS RTU o adaptable.
  - Flexibilidad en la programación.
- **Sensores y actuadores:**
  - Comerciales.
  - Tipo de sensor analógico o digital.
  - Rango de Operación.
  - Niveles de alimentación
  - Características del proceso.



Todas estas consideraciones forman parte de los criterios de selección para cada uno de los equipos, proceso clave para garantizar la comunicación y confiabilidad de todo el sistema de control.

### ***3.1.2.2. Selección de la tarjeta de adquisición de datos***

Para fines del presente proyecto la tarjeta Arduino Mega 2560 R3 (microcontrolador Atmega2560) se utilizará como una tarjeta de adquisición de datos, es decir, esta recibirá las señales de los sensores, serán procesadas y mediante el protocolo Modbus serán enviadas al PLC.

El controlador Arduino junto con los sensores conformarán un conjunto, donde la función del Arduino será enviar las señales al PLC usando un protocolo de comunicación estándar ampliamente conocido y usado el cual será el Modbus TCP.

Arduino es una plataforma de software abierta que cuenta con diversos accesorios y componentes en el mercado que permiten el desarrollo de pequeñas y mediadas aplicaciones a diferencia de otras como NI, motivo por el cual se hizo uso de esta herramienta.

**Naylamp Mechatronics, SF menciona las siguientes Características principales:**

- Microcontrolador: ATmega2560
- Chip USB: ATmega16U2
- Voltaje de Operación: 5V
- Voltaje de alimentación: 6-20V (7-12V recomendado)
- Pines digitales I/O: 54 (15 salidas PWM)
- Entradas analógicas: 16
- Corriente máxima entrada/salida: 40mA



- Memoria FLASH: 256K
- Memoria SRAM: 8K
- Memoria EEPROM: 4K
- Velocidad de reloj: 16Mhz

**Figura 53:**

*Arduino mega*



Fuente: <https://naylampmechatronics.com/arduino-tarjetas/9-arduino-mega-2560.html>, (SF).

Mayor información en Datasheet colocado en la sección de Anexos.

**3.1.2.2.1. Shield ethernet**

El Arduino mega no cuenta con un protocolo de comunicación tales como Ethernet, modbus, profinet, etc. A excepción del serial que se utiliza para cargar y descargas programas en él o monitoreo del mismo tipo. Por ello, es necesario adicionar una tarjeta para tal propósito en este caso Shield Ethernet W5100.

Con dicha tarjeta se establecerá la comunicación modbus TCP/IP entre el Arduino y el PLC:

**Naylamp Mechatronics, SF menciona las siguientes características principales:**

- Voltaje de Operación: 5V DC

- Chip Ethernet: Wiznet W5100
- Velocidad Ethernet: 10/100 Mbps
- Conector RJ45
- Interface: SPI
- Compatible con Arduino Uno, Mega, Leonardo
- Lector MicroSD Card

**Figura 54:**

*Shield Ethernet para Arduino*



Fuente: <https://www.makerlab-electronics.com/product/arduino-ethernet-shield-w5100/>, (SF).

Mayor información en Datasheet colocado en la sección de Anexos.

### **3.1.2.3. Selección del PLC**

La marca SIEMENS posee una gran variedad de gamas de controladores lógicos programables, dentro de ella la gama S7 – 1200 que con no mucho tiempo en el mercado se ha caracterizado por ser óptimas para tareas de automatización no complejas o sencillas, pero que requieren de alta precisión, controladores de alta velocidad de procesamiento, compactos, configuración flexible y con un amplio juego de instrucciones para su programación.

**Siemens, en el 2019 menciona las siguientes características principales del PLC seleccionado:**

1. Marca: SIEMENS
2. Modelo: 6S7212-1BE40-0XB0
3. CPU: 1212C

**Tabla 14:**

*Características PLC S7 - 1200*

Función	CPU 1212C
Dimensiones físicas (mm)	90 x 100 x 75
Memoria de usuario :	
* Memoria de trabajo	25 KB
* Memoria de carga	1 MB
* Memoria remanente	2KB
E/S integradas locales	
* Digitales	8 entradas / 6 Salidas
* Analógicas	2 Entradas
Tamaño de la memoria imagen de proceso	1024 bytes para entradas (I) y 1024 bytes para salidas (Q)
Área de marcas (M)	4096 bytes
Ampliación con módulos de señales	2
Signal Board	1
Módulos de comunicación	3 (ampliación en el lado izquierdo)
Contadores rápidos	4
* Fase simple	3 a 100 kHz 1 a 30 kHz
* Fase en cuadratura	3 a 80 kHz 1 a 20 kHz
Salidas de impulsos	2
Memory Card	SIMATIC Memory Card (opcional)
Tiempo de respaldo del reloj de tiempo real	Típico: 10 días / Mínimo: 6 días a 40 °C
PROFINET	1 puerto de comunicación Ethernet
Velocidad de ejecución de funciones matemáticas con números reales	18 µs/instrucción
Velocidad de ejecución booleana	0,1 µs/instrucción

Fuente: Siemens, (2019).



**Figura 55:**

*PLC S7 – 1200*



Fuente: *Siemens, (2019).*

Mayor información en Datasheet colocado en la sección de Anexos.

### 3.1.2.4. Selección del módulo de comunicación

Como es desarrollo del presente proyecto el control del variador de velocidad será a través del protocolo de comunicación MODBUS RTU, de acuerdo a la tabla XX de las características del PLC S7 – 1200 este no cuenta con dicho protocolo de comunicación para la cual se ha seleccionado el siguiente módulo:

**Siemens, en el 2019 menciona las siguientes características principales:**

1. Marca: SIEMENS
2. Modelo: 6ES7241-1CH30-1XB0
3. N° Parte: CB 1241 - RS485

Interfases	
Punto a punto	
Longitud de cable	1000 m
Driver de protocolo integrados	
Freeport	Si
ASCII	Si, disponible en función de librería
Modbus	Si
RTU Maestro Modbus	Si
RTU Esclavo Modbus	Si
USS	Si, disponible en función de librería



Protocolos	
Protocolos integrados	
RTU Maestro Modbus	
Área de direcciones	1 a 49 999 (dirección estándar de Modbus)
Nº de esclavos, Max	247; 1 a 247, máximo 32 dispositivos por cada segmento de red MODBUS, se precisan repetidores adicionales para ampliar la red a la máxima configuración
RTU esclavos Modbus	
Área de direcciones	1 a 49 999 (dirección estándar de Modbus)
Álarmas/diagnósticos/ Información de estado	
Función de diagnóstico	Si
Grado de protección	
IP 20	Si

**Tabla 15:**

*Características Módulo de comunicación CB 1241 – RS 485*

Fuente: Siemens, (2019)

**Figura 56:**

*Módulo de comunicación CB1241*



Fuente: Siemens, (2019).

Mayor información en Datasheet colocado en la sección de Anexos.

### 3.1.2.5. Selección del variador de velocidad

En el punto 3.1.1. diseño mecánico se calculó y determino el tamaño de la bomba requerida para el presente proyecto (potencia 0.5 hp), con dicho valor y para evitar problemas de comunicación se utilizará un variador de la misma marca del PLC.

**Siemens, en el 2019 menciona las siguientes características principales:**

1. Marca: SIEMENS
2. Modelo: 6SL3210-5BB13-7BV1
3. Descripción: SINAMIC V20 0.5 HP/0.37 KW 1 AC 220 -240V 2.3 A FSAA con filtro IP 20

**Figura 57:**

*Variador de velocidad SINAMIC V20*



*Fuente:* Siemens, (2019).

Mayor información en Datasheet colocado en la sección de Anexos.

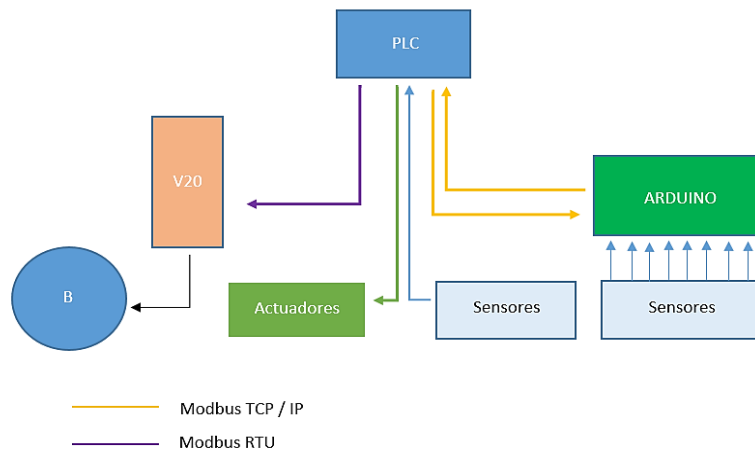
### 3.1.3. Diseño Sistema de Control

#### 3.1.3.1. Sistema de comunicación

La comunicación de los distintos equipos se representa en el gráfico número:

**Figura 58:**

*Representación sistema de comunicación de los diferentes equipos*



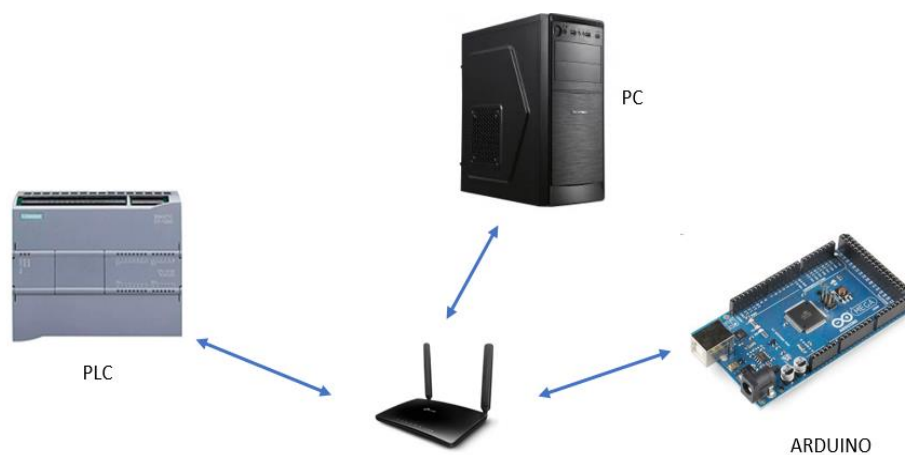
*Fuente:* Diseño Propio, (2020).

Es decir, la comunicación entre el arduino y el PLC (señales de caudal y nivel de altura) estará dada por el protocolo Modbus TCP / IP en configuración maestro / esclavo. Mientras que la comunicación entre variador de velocidad y el PLC estará dada por la variante Modbus RTU.

El monitoreo y control de las variables y estado general de la planta se dará a través de una interface hombre-máquina creada en el software SCADA Movicon, pero para ello es necesario crear una red LAN ETHERNET de los equipos PC – PLC – ARDUINO:

**Figura 59:**

*Red ETHERNET del sistema*



Fuente: Diseño propio, (2020).





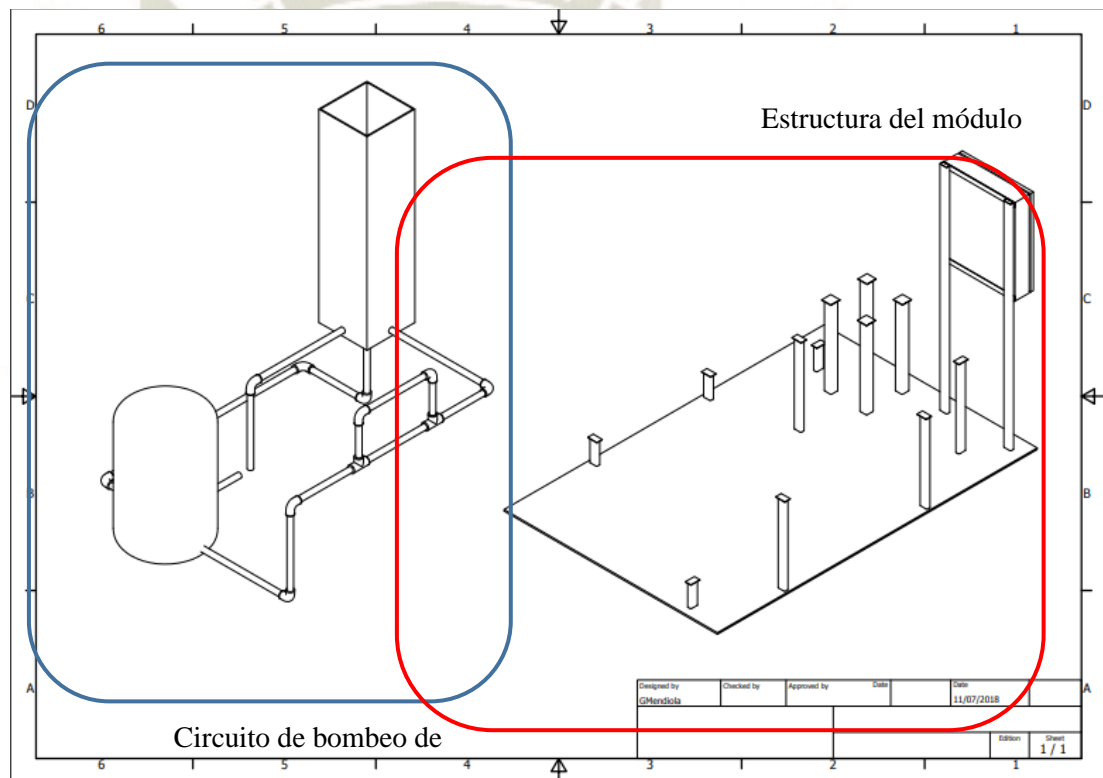
## CAPITULO IV: IMPLEMENTACIÓN DEL MÓDULO DE CONTROL

### 4.1. Construcción del Módulo

Se procedió a realizar el plano del circuito de bombeo de agua (izquierda) y el plano de la estructura (derecha) como se aprecia en la figura N° 57.

**Figura 60:**

*Esquemático del módulo de control de agua*



Fuente: Diseño propio, (2020).

Se realizó la instalación de las uniones universales en el tanque contenedor de agua, como se aprecia en la figura N° 58.

**Figura 61:**

*Tanque de succión*



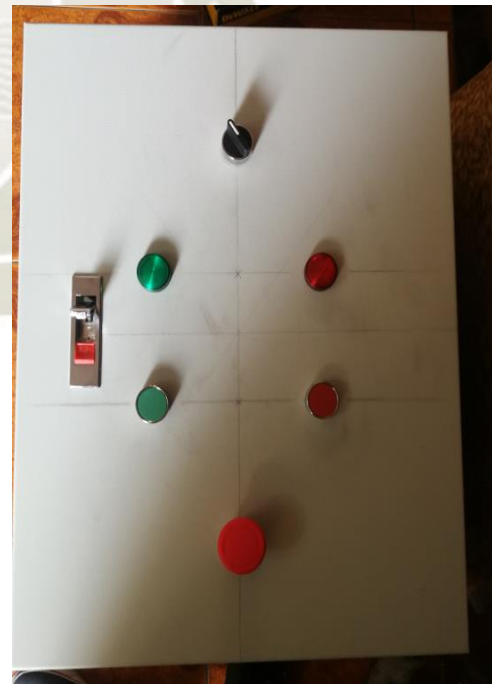
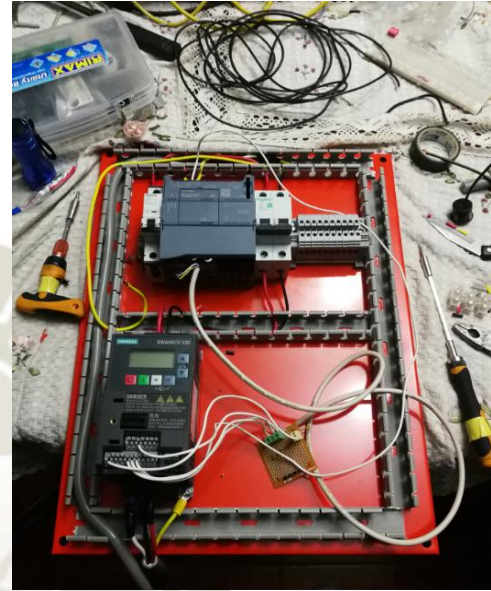
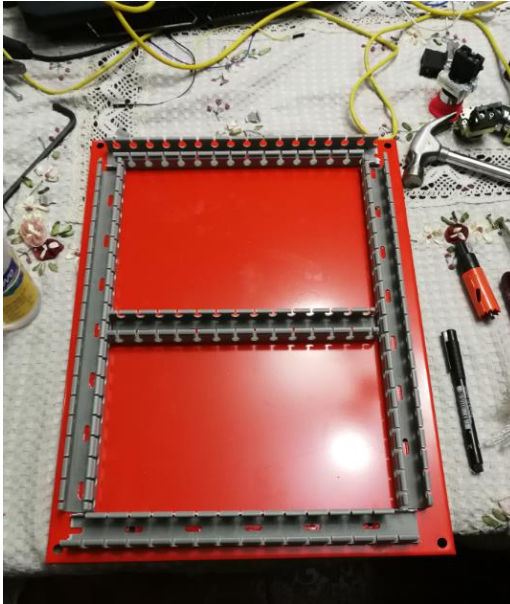
Fuente: Diseño propio, (2019).



Armado del tablero eléctrico / control del módulo

**Figura 62:**

*Construcción del Tablero eléctrico*



Fuente: Diseño propio, (2019)



Se continuó con la soldadura de soportes, fabricación del tanque de metal, unión de tuberías con el siguiente resultado,

**Figura 63:**

*Módulo de control de Nivel*



*Fuente:* Diseño propio, (2020).

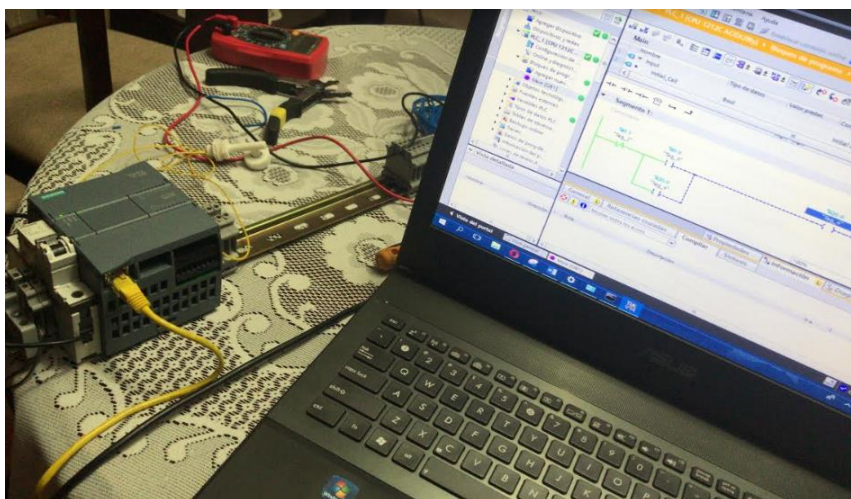


## 4.2. Programación del PLC S7-1200

Se realiza el conexionado de alimentación del PLC y se conectó con un cable ethernet a la PC.

**Figura 64:**

*Conexionado alimentación PLC S7 - 1200*

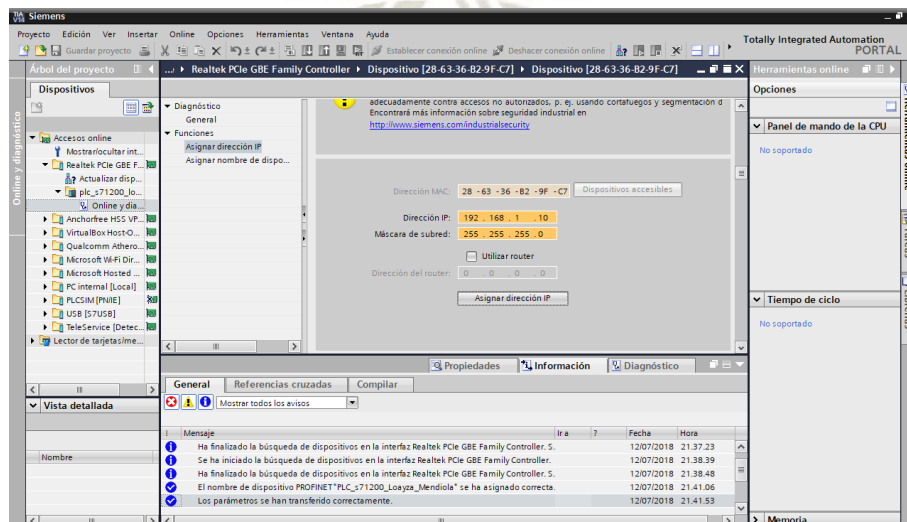


Fuente: Diseño propio, (2020).

Se configuró la IP del PLC y se cambió la IP de la PC para que estén en la misma subred.

**Figura 65:**

*Configuración de IP del PLC*

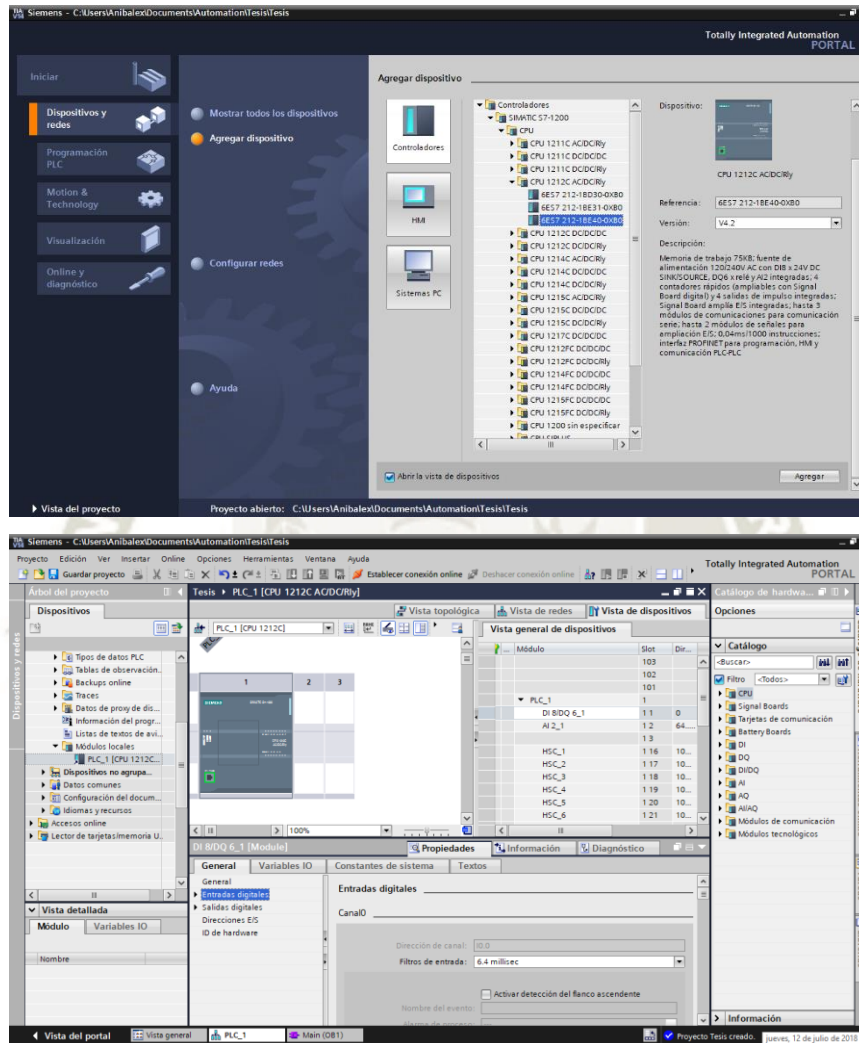


Fuente: Diseño propio, (2020).

Se configuró el modelo del CPU del PLC y se configuraron las entradas y salidas digitales y analógicas.

**Figura 66:**

*Configuración del CPU, entradas y salidas digitales y analógicas del PLC:*

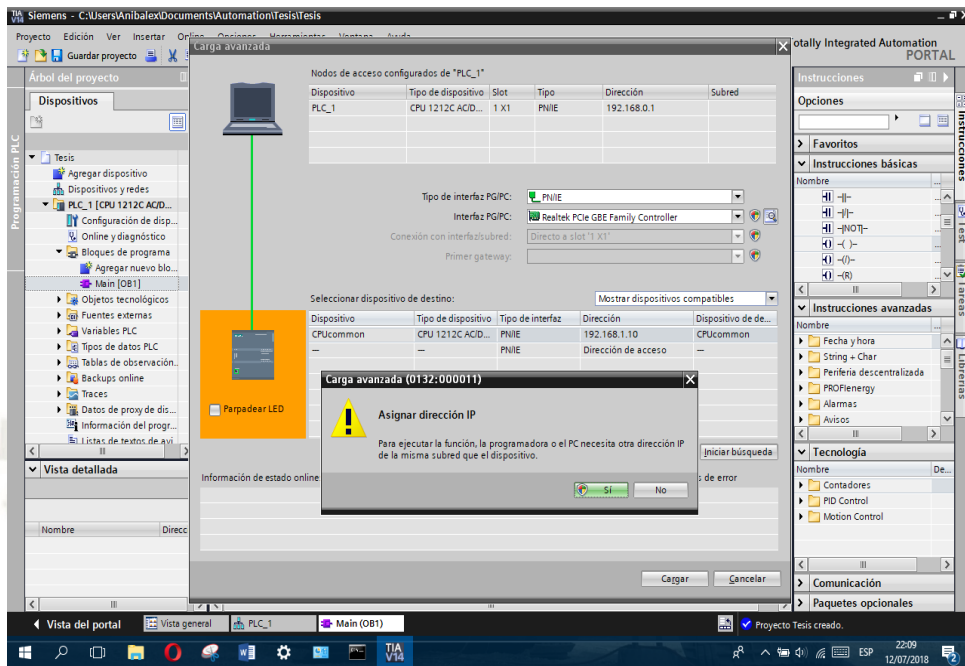


Fuente: Diseño propio, (2020).

Se comenzó a crear el código de programación del proyecto y se descargó el programa en el PLC para realizar pruebas y simulaciones.

**Figura 67:**

*Descarga del programa en el PLC*



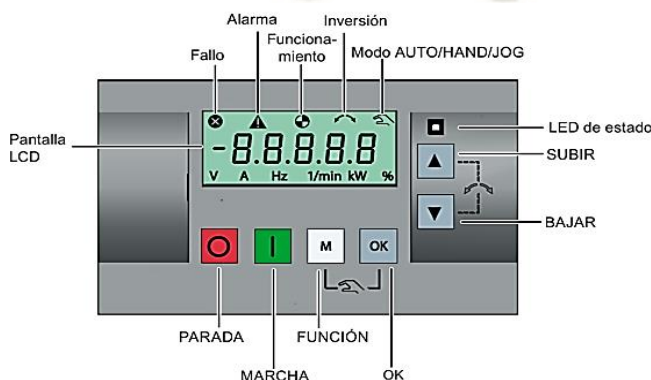
Fuente: Diseño propio, (2020).

### 4.3. Programación del Variador de Velocidad

La parametrización del variador SINAMIC V20 se hace de manera manual ingresando los valores a través de su panel de control del mismo equipo:

**Figura 68:**

*Interface Hombre - Máquina Variador Sinamic V20*



Fuente: Siemens, (2008).



### Parámetros configuradores:

Al ser energizado, comenzamos con el menú de puesta en marcha:

#### 1. Datos de Motor:

60hP.7  
Hz

Datos de placa en HP y alimentación a 60 Hz.

P0304

Voltaje Nominal: 220 V

P0305

Corriente Nominal: 2.3 A

P0307

Potencia Nominal: 0.5 HP

P0308

Factor de Potencia: 1

P0310

Frecuencia Nominal: 60 Hz

P0311

Velocidad Nominal RPM: 3450

P1900

Habilitación de identificación de motor: 2

#### 2. Macro de conexiones configurables:

[n011

Tipo de conexión: Regulación MODBUS RTU

-[n011

El signo negativo, es el indicador de que la macro ha sido seleccionada.



### 3. Macro de aplicaciones configurables:

RPO 10

Macro aplicable: Aplicaciones de bombas sencillas

-RPO 10

El signo negativo, es el indicador de que la macro ha sido seleccionada.

### 4. Parámetros adicionales:

P 1080

Frecuencia mínima de Operación: 0 Hz.

Con este último parámetro se culmina con la configuración de nuestro variador acorde a nuestro sistema.

Antes de arrancar el motor, se debe inicializar el proceso de identificación del mismo. El proceso puede tardar algunos minutos.

Cuando el proceso haya terminado la alarma en el display desaparece y estamos lista para arrancar el motor.

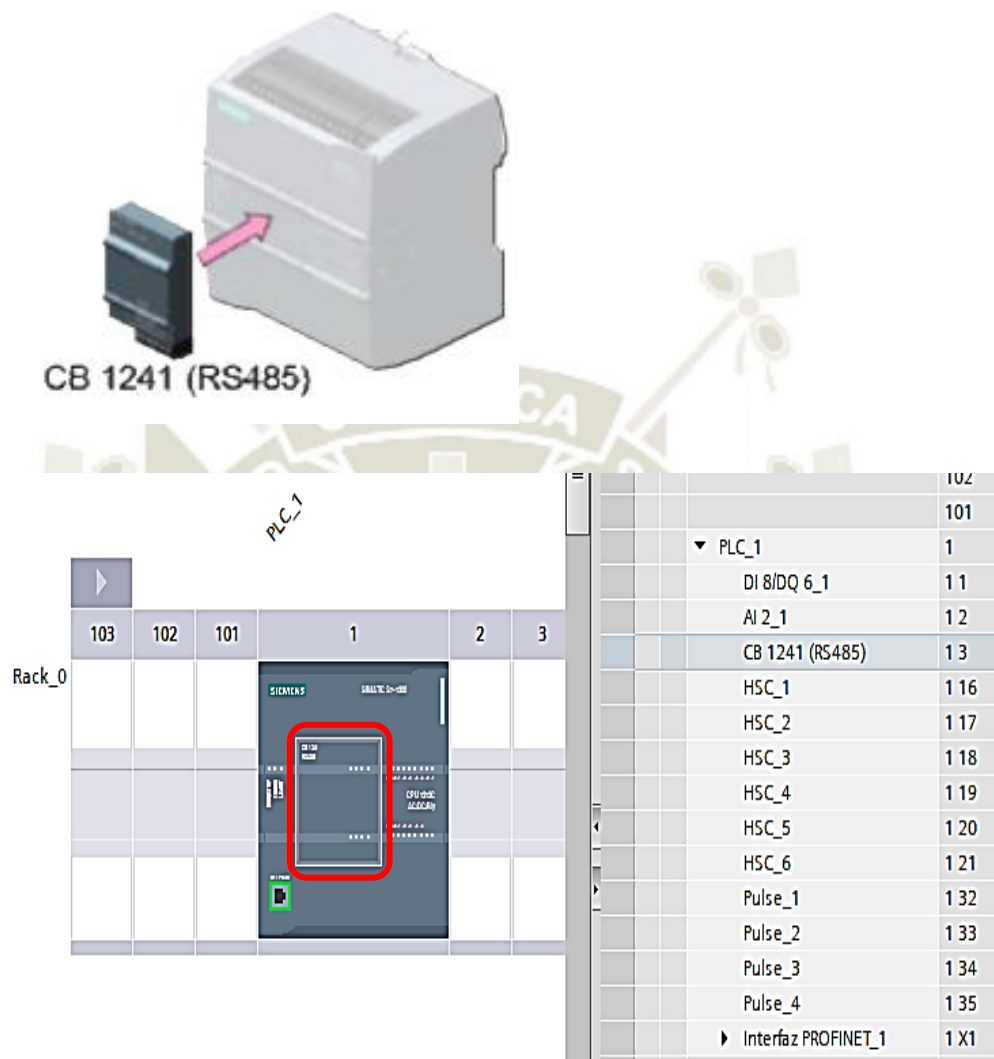
## 4.4. Configuración Comunicación Maestro Esclavo

### 4.4.1. Comunicación PLC – Variador

Luego de insertar la tarjeta en la configuración del hardware del PLC, procedimos a realizar pruebas de comunicación entre el PLC y el variador, usando comunicación Modbus RTU.

**Figura 69:**

*Configuración de tarjeta de comunicación software TIA PORTAL*

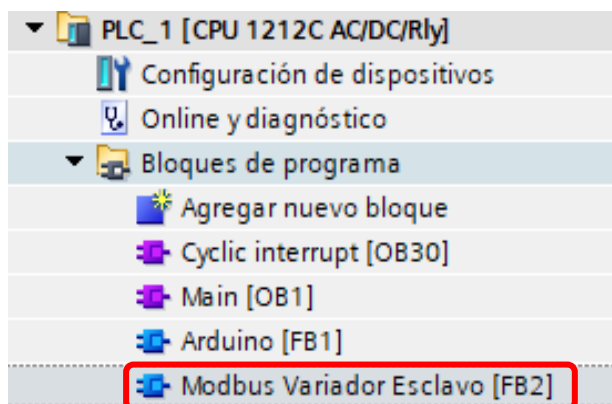


Fuente: Diseño propio, (2020).

Se creó el nuevo bloque de función encargado de establecer la comunicación PLC-Variador.

**Figura 70:**

*Creación bloque de funciones comunicación PLC – Variador*

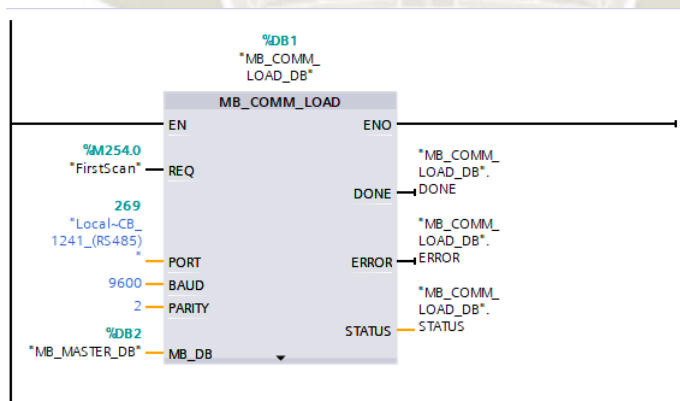


Fuente: Diseño propio, (2020).

Iniciamos con el bloque MB\_COMM\_LOAD, para declarar las variables de configuración inicial.

**Figura 71:**

*Bloque de comunicación*



Fuente: Diseño propio, (2020).

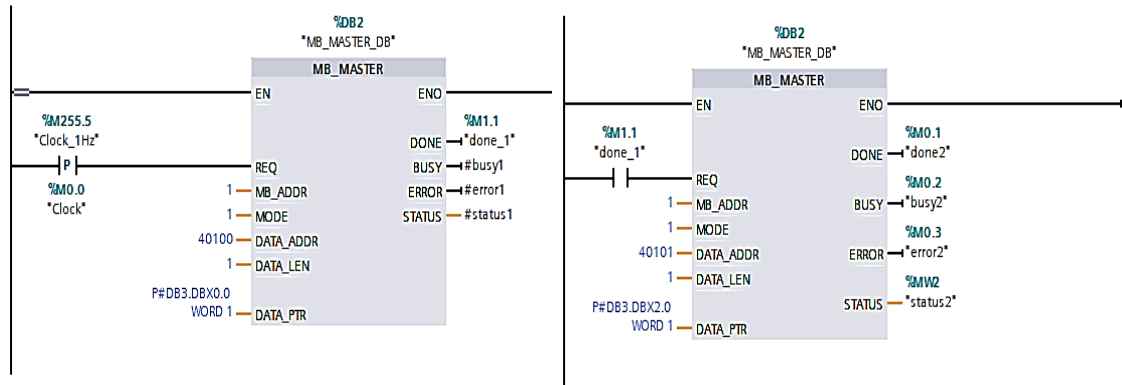
E insertamos los bloques MB\_MASTER, para configurar el envío / recepción de registros entre el PLC y el variador, en este caso, trabajaremos con los registros de lectura/escritura STW y HSW (40100 y 40101).



El comando STW corresponde a la “palabra de mando” y el comando HSW corresponde a la “consigna de velocidad “.

**Figura 72:**

*Configuración Maestro – Esclavo*



Fuente: Diseño propio, (2020)

#### 4.4.2. Pruebas de funcionamiento de sensor de nivel

Inicialmente, contamos con tres modelos de sensor de nivel, con los cuales se realizaron pruebas para determinar cuál era el de mejor interfaz, los tres sensores son los siguientes:

##### a. Sensor Ultrasonido HC-SR04

**Tabla 16:**

*Especificaciones técnicas Sensor HC - SR04*

#### **Especificaciones técnicas**

Voltaje de Operación: 5V DC

Corriente de reposo: < 2mA

Corriente de trabajo: 15mA

Rango de medición: 2cm a 450cm

Precisión: +- 3mm

Ángulo de apertura: 15°

Frecuencia de ultrasonido: 40KHz

Duración mínima del pulso de disparo TRIG (nivel TTL): 10 µS

Duración del pulso ECO de salida (nivel TTL): 100-25000 µS

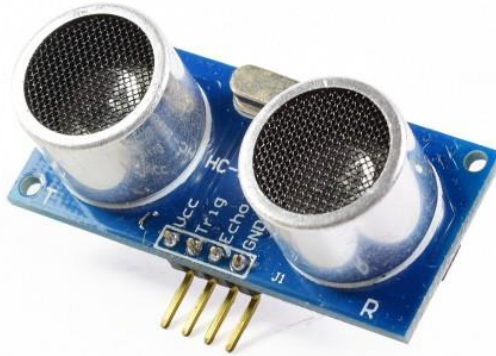
Dimensiones: 45mm x 20mm x 15mm

Tiempo mínimo de espera entre una medida y el inicio de otra 20ms (recomendable 50ms)

Fuente: Arduino, (SF)

**Figura 73:**

*Sensor HC - SR04*



Fuente: <https://naylampmechatronics.com/>, (SF).

**b. Sensor Infrarrojo de distancia SHARP GP2Y0A21**

**Tabla 17:**

*Especificaciones Técnicas Sensor Infrarrojo SHARP GP2Y0A21*

---

**Especificaciones técnicas**

---

Distancia de medición: 10cm a 80cm

Salida: Voltaje Analógico

Consumo de corriente: 30mA

Voltaje de operación: 4.5V a 5.5V DC

Conexión: Conector JST PH de 3 pines (Cable con conector incluido)

Tamaño: 29.5x13x13.5 mm

---

Fuente: <https://naylampmechatronics.com/>, (SF).

**Figura 74:**

*Sensor Infrarojo SHARP GP2Y0A21*



Fuente: <https://naylampmechatronics.com/>, (SF).

**c. Sensor Ultrasonido JSN-SR04T-2.0**

**Figura 75:**

*Especificaciones Técnicas Sensor Ultrasonido JSN- SR04T-2.0*

<b>Especificaciones técnicas</b>
Modelo: JSN-SR04-2.0
Voltaje de Operación: 3,0 - 5,5V DC
Corriente de trabajo: Menor que 8 mA
Rango de detección: 20cm-600cm
Resolución: 1mm
Frecuencia de emisión acústica: 40KHz
Duración mínima del pulso de disparo (nivel TTL): 1,10 $\mu$ S.
Tiempo mínimo de espera entre una medida y el inicio de otra 20 mS.
Ángulo de detección: 75°
A prueba de agua (parte delantera)
Diámetro: 22mm
Dimensiones: 42 x 29 x 12 mm
Temperatura de trabajo: -20°C hasta 70°C

Fuente: Arduino, (2008)



**Figura 76:**

*Sensor Ultrasonido JSN – SR04T*



Fuente: <https://naylampmechatronics.com/>, (SF).

Si bien los tres sensores cumplían la función de determinar nivel con una buena precisión (entre 3 y 1 mm), la diferencia fundamental entre sus funcionamientos fue el medio en el que trabajaban, al ser expuestos para determinar el nivel de una columna de agua limpia, el sensor JSN-SR04T-2.0 fue el que tuvo mejor desempeño al no presentar mayores saltos entre los valores que emitía, a diferencia de los otros dos sensores, esto era esperado ya que este mencionado sensor fue especialmente diseñado para detectar nivel de agua y tiene mejores especificaciones técnicas para el objetivo deseado, por lo cual fue elegido como sensor de trabajo.

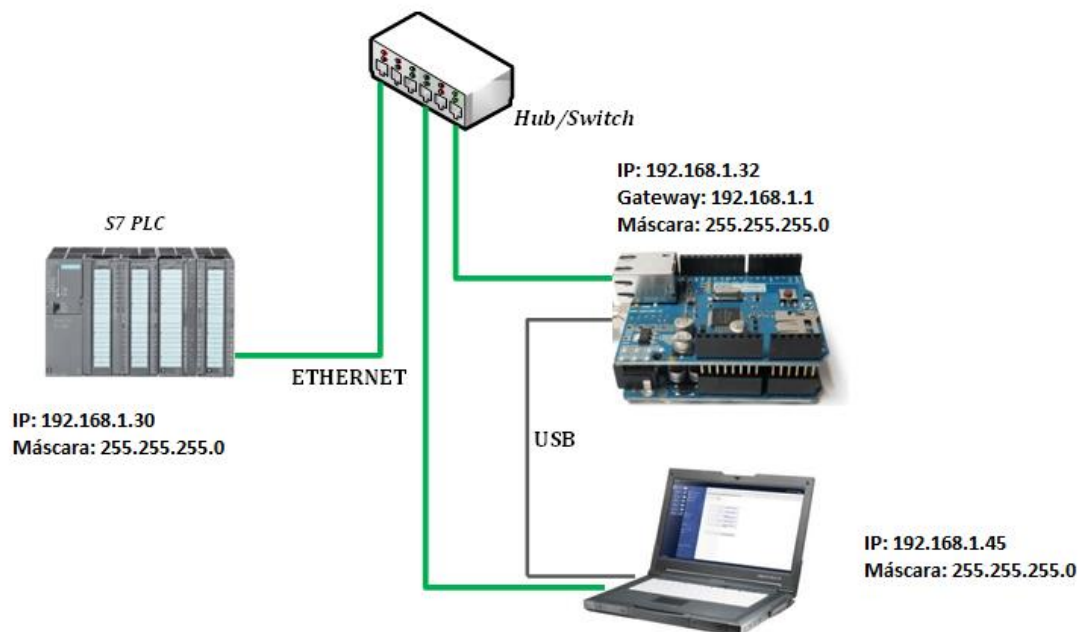
#### **4.4.3. Comunicación PLC – sensores**

La comunicación entre el sensor de nivel y el PLC será a través del envío de datos entre el microcontrolador Arduino y el PLC. Esto se realizó mediante la comunicación Modbus TCP a través del Shield Ethernet.

En la imagen se puede observar la subred implementada entre PLC – Arduino – PG/PC para nuestro propósito.

**Figura 77:**

*SubRed de Comunicación PLC – Arduino- PC*



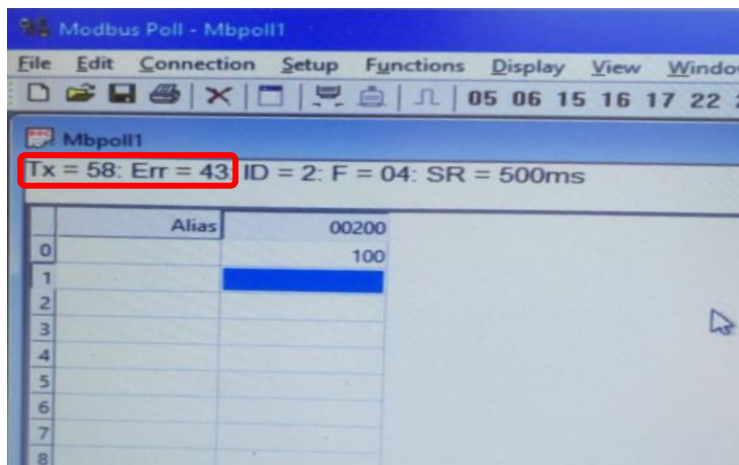
Fuente: Diseño propio, (2020).

Inicialmente, se usó la librería “Modbus” para el envío de datos desde el Arduino, pero durante las pruebas se observó pérdida de datos durante la comunicación, se procedió a simular la comunicación Modbus TCP para verificar su correcta performance. Para esto se usó el software Modbus Poll, el cual es un simulador maestro Modbus diseñado principalmente para ayudar a los desarrolladores de dispositivos esclavos Modbus u otros que quieran probar y simular el protocolo Modbus.

Con lo que se pudo observar que de 58 “queries” de transmisión ocurrieron 43 errores, es decir, solo 15 “queries” fueron recibidas (Figura adjunta).

**Figura 78:**

*Prueba de Comunicación Fallida con Modbus Poll*

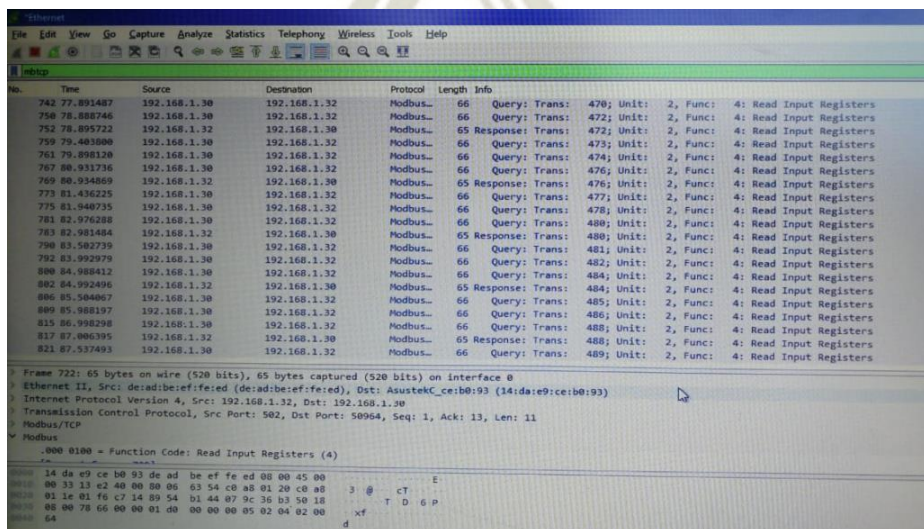


Fuente: Diseño propio, (2019).

Junto con el software Modbus Pool, se usó el software “Wireshark”, el cual es un analizador de protocolos utilizado para realizar análisis y solucionar problemas en redes de comunicaciones, con ayuda de este software, pudimos identificar que, de cada 4 paquetes de datos enviados, solo se recibía 1.

**Figura 79:**

*Análisis de Paquetes de Datos de Modbus en Software Wireshark*



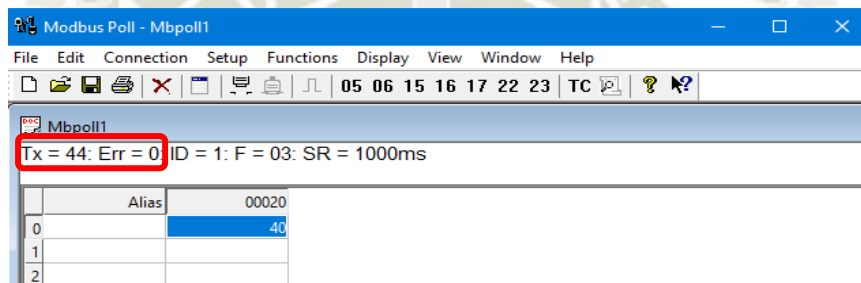
Fuente: Diseño propio, (2019).



Dados estos problemas de comunicación, se procedió a utilizar otra librería de Arduino denominada “Modbus” como parte del Troubleshooting de este problema, realizada la configuración con la nueva librería, se procedió a realizar las pruebas correspondientes, las cuales fueron exitosas, ya que no se generaban más errores en la comunicación Modbus TCP.

**Figura 80:**

*Prueba de Comunicación Exitosa con Modbus Poll*

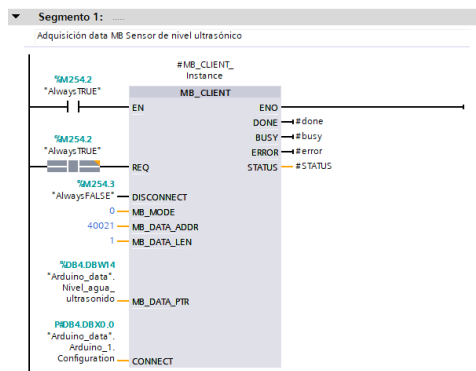


Fuente: Diseño propio, (2019).

Corregidos los problemas de comunicación, se procedió a realizar las configuraciones en el PLC, usando el bloque “MB\_CLIENT”, como se puede apreciar en la imagen, para más detalle de la configuración de la comunicación Modbus TCP, tanto del PLC como del Arduino, buscar los respectivos ANEXOS con la programación completa.

**Figura 81:**

*Prueba de envío de señal de Arduino a PLC*



Fuente: Diseño Propio, (2019).

#### 4.5. Desarrollo del algoritmo de control

La estructura de control usada es un regulador PIDT1 con Anti-Windup y ponderaciones de las acciones P y D. El algoritmo PID funciona de acuerdo con la siguiente fórmula:

Estructura del PID Compact

$$y = K_p \left[ (b \cdot w - x) + \frac{1}{T_i \cdot s} (w - x) + T_D \cdot \frac{s}{a \cdot T_D \cdot s + 1} (c \cdot w - x) \right]$$

Donde:

*y*: Valor de salida del algoritmo PID

*K<sub>p</sub>*: Ganancia proporcional

*s*: Operador laplaciano

*b*: Ponderación de la acción P

*w*: Consigna (Setpoint)

*x*: Valor real (Scaleinput)

*T<sub>i</sub>*: Tiempo de integración

*a*: Coeficiente para el retardo de la acción derivada

*T<sub>D</sub>*: Tiempo derivativo

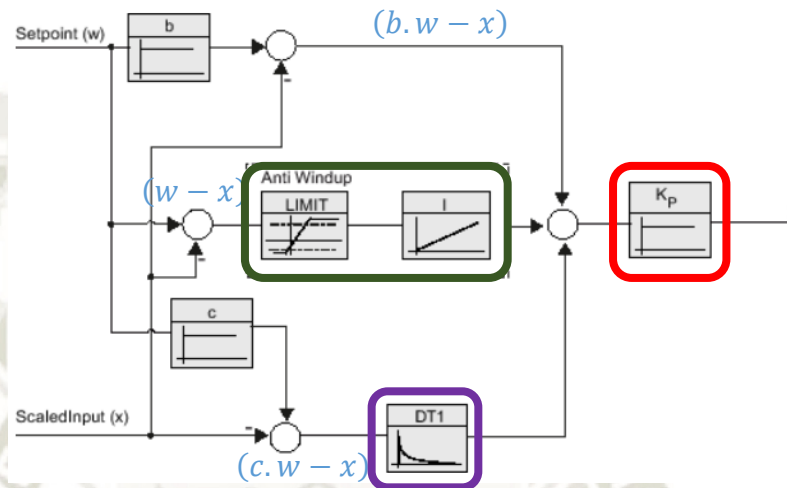
*T<sub>1</sub>*: Retardo a la acción derivativa  $D T_1 = a \times T_D$

*c*: Ponderación de la acción D

Su diagrama de bloques del bloque regulador PIDT1 con Anti-Windup quedaría de la siguiente manera:

**Figura 82:**

*Regulador PIDT1*



Fuente: Diseño propio y manual de Siemens S7-1200, (2020).

Donde podemos ver resaltados en recuadros de colores rojo, verde y morado los bloques proporcional, integrativo y derivativo respectivamente.

Este algoritmo lleva el nombre de PIDT1 con Anti-Windup debido a que cuenta con un retardo a la acción derivativa y para un sistema de control con un amplio rango de condiciones de operación, puede suceder que la variable de control alcance los límites prefijados del actuador. Cuando esto pasa, el bucle realimentado permanece en su límite independientemente de la salida del proceso. Si se usa un controlador con acción integral convencional, el error continuará siendo integrado, incrementando aún más su valor. Esto significa que el término integral puede volverse muy grande y producirse el efecto llamado “Windup”.

Para evitar que ocurra este fenómeno se puede optar por 02 caminos:

1. Introducir limitadores en las variaciones de la referencia tal que la salida del controlador nunca alcance los límites de nuestro actuador.



Esta acción podría generar límites de funcionamiento en el controlador.

2. Otra forma es el re-cálculo de la integral: cuando la salida se satura, la integral es recalculada tal que su nuevo valor proporciona una salida en el límite de la saturación.

En base a este regulador el diagrama de bloques de control simplificado es representado de la siguiente manera:

**Figura 83:**

*Diagrama de bloques simplificado del sistema de control*



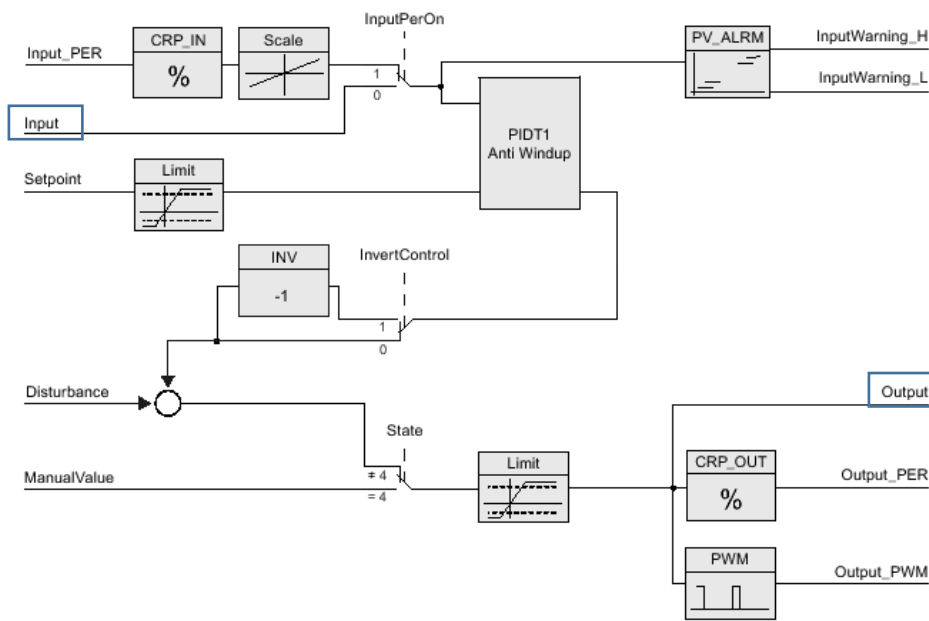
Fuente: Diseño propio y manual de Siemens S7-1200, (2020).

Siendo el regulador en el recuadro rojo, el bloque de todo el regulador PIDT1 anteriormente detallado y el bloque en recuadro verde la planta de control de nivel, la consigna o setpoint el valor de nivel ingresado por el HMI, la variable manipulada u outputValue, es la consigna de velocidad enviada vía ModBus RTU al drive Sinamics para controlar la frecuencia eléctrica del motor de la bomba y por último el valor real o inputValue es el feedback del sensor de nivel que vá Modbus TCP es enviado a través del microcontrolador Arduino al PLC s7-1200 para hallar el error restando este valor a la consigna o Setpoint.

El diagrama de bloques simplificado indicado en la imagen anterior, se puede detallar de la siguiente manera:

**Figura 84:**

*Diagrama de bloques detallado del sistema de control*



Fuente: Diseño propio y manual de Siemens S7-1200, (2020).

En este diagrama se puede apreciar que tanto para la señal Input y Output pueden ser seleccionados diferentes tipos, en nuestro caso, que deseamos las señales Input u Output sean del tipo Real para enviar estos datos vía los protocolos de comunicación anteriormente mencionados, se usará la entrada “Input” y la salida “Output”.

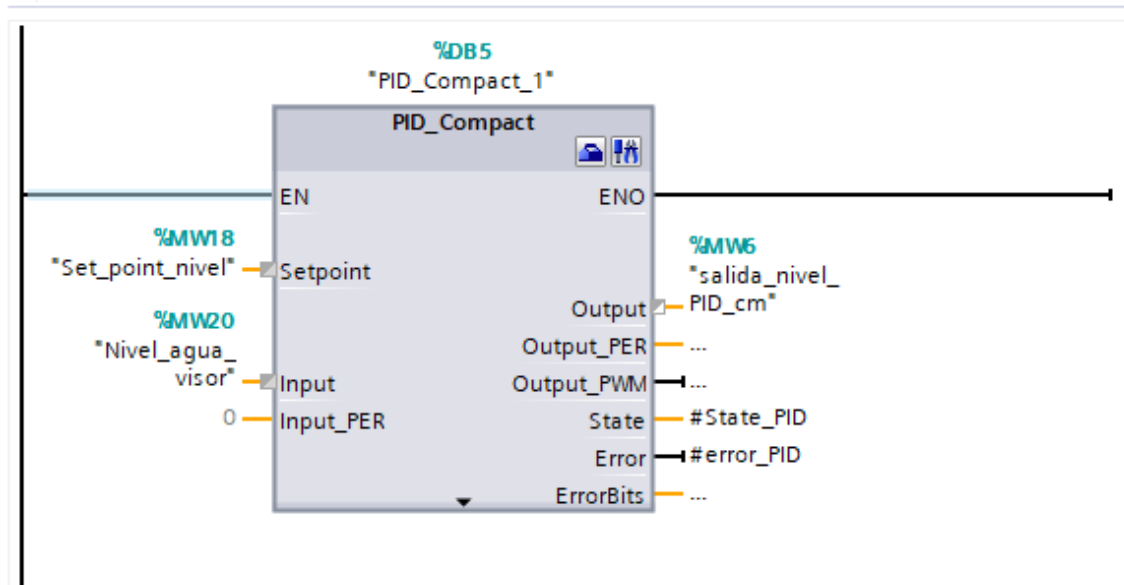
La entrada “Input\_PER” es usada para señales de entradas analógicas, la salida “Output\_PER” es usada para señales de salidas analógicas y la salida “Output\_PWM” como su nombre lo indica, será usada para salidas del tipo PWM.

En el software TIA Portal el bloque de PID queda simplificado en una instrucción que debe ser llamada en una base de tiempo constante de un OB de alarma cíclica.

En nuestro caso el bloque queda configurado de la siguiente manera.

**Figura 85:**

*Bloque PID\_Compact en TIA Portal*



Fuente: Diseño propio y manual de Siemens S7-1200, (2020).

#### 4.6. Sintonización del PID de Control

Con las comunicaciones Modbus RTU y Modbus TCP configuradas y probadas, se procedió a configurar nuestro sistema de control.

Donde nuestro setpoint es ingresado por el usuario desde el HMI, nuestro “input” es la señal recibida desde el sensor ultrasónico de nivel vía Modbus TCP, y la salida será escalada a un valor de frecuencia que será enviada al variador de velocidad vía Modbus RTU, tal como se aprecia en la figura 84.

El método usado para sintonizar el PID fue el método de oscilación de Ziegler – Nichols, el cual consta de los siguientes pasos:

1. Aplicar a la planta sólo control proporcional con ganancia  $K_p$  pequeña.
2. Aumentar el valor de  $K_p$  hasta que el lazo comience a oscilar. La oscilación debe ser lineal y debe detectarse en la salida del controlador  $U(t)$ .



3. Registrar la ganancia crítica  $K_p = K_c$  y el período de oscilación  $P_c$  de  $U(t)$ , a la salida del controlador.
4. Ajustar los parámetros del controlador PID de acuerdo al Cuadro 1.

**Figura 86:**

*Método de Oscilación de Ziegler-nichols*

	$K_p$	$T_r$	$T_d$
P	$0,50K_c$		
PI	$0,45K_c$	$\frac{P_c}{1,2}$	
PID	$0,60K_c$	$\frac{P_c}{2}$	$\frac{P_c}{8}$

Fuente: Newcastle, (2004).

Calculados estos parámetros iniciales, se procedió a usar la función sintonización fina del bloque PID\_Compact del TIA Portal. Terminada la sintonización fina, las ganancias de nuestro controlador fueron las siguientes:

**Figura 87:**

*Parámetros PID finales*

Ganancia proporcional:	4.29119
Tiempo de integración:	12.81844 s
Tiempo derivativo:	3.235883 s
Coficiente retardo derivativo:	0.1
Ponderación de la acción P:	2.617496E-1
Ponderación de la acción D:	0.0
Tiempo muestreo algoritmo PID:	3.014564E-1 s

Fuente: Diseño Propio, (2020).

Con las ganancias obtenidas, realizamos pruebas del sistema para verificar su correcto funcionamiento.

Para el desarrollo del presente proyecto estamos optando por utilizar el sistema de control PID puesto que con los valores obtenidos durante las pruebas reales muestran que el tiempo de respuesta está dentro de lo tolerable entre 20 – 35 segundos, se ha logrado eliminar el error de estado estacionario y con la inclusión de la acción derivativa logramos disminuir las oscilaciones al retornar la variable al punto de consigna.

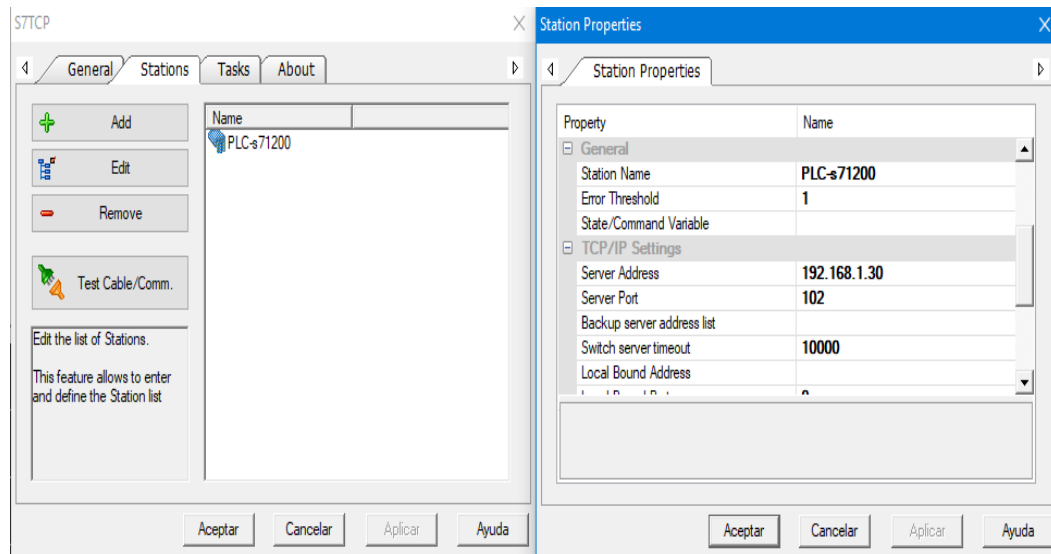
Con un controlado PI se podría satisfacer las necesidades del presente proyecto, sin embargo, en la práctica debido a que las variaciones en las RPM de la bomba tenían una demora en su efecto del nivel del tanque, es decir, se generaban ciertas oscilaciones en el proceso, por ello, se decidió incluir la variable derivativa a fin de disminuir este efecto no deseado.

#### **4.7. Desarrollo de la Interfaz Hombre – Máquina Hmi**

El desarrollo del interfaz hombre máquina se realizó a través del software gratuito Movicon, el cual es configurable para correr en un entorno de Windows o mediante las pantallas HMI de la marca Vipa. Una de las ventajas de este software es la gran variedad de protocolos que acepta para su comunicación con diferentes PLCs, en nuestro caso utilizamos el protocolo S7-TCP, el cual es un driver diseñado específicamente para su uso con PLC Siemens.

**Figura 88:**

*Configuración de comunicación S7 TCP de Movicon*



Fuente: Diseño Propio, (2020).

Se crearon las siguientes pantallas de interfaz o sinópticos para establecer un interfaz amigable y estético para la operación del módulo de control, como una carátula con los datos de los programadores de la interfaz.

**Figura 89:**

*Sinóptico de la carátula del HMI*



Fuente: Diseño Propio, (2020).

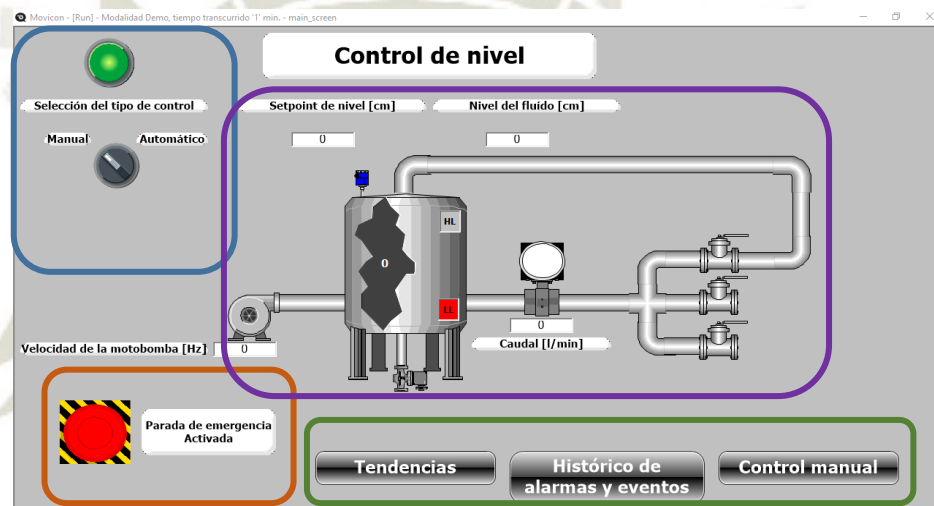


Seguido de la carátula, la siguiente pantalla es la pantalla principal del HMI, la cual consta de 4 secciones principalmente:

1. Selección del tipo de control.
2. Visualización de señales y control en tiempo real.
3. Estado actual del sistema.
4. Selección de pantallas secundarias.

**Figura 90:**

*Pantalla principal del HMI*



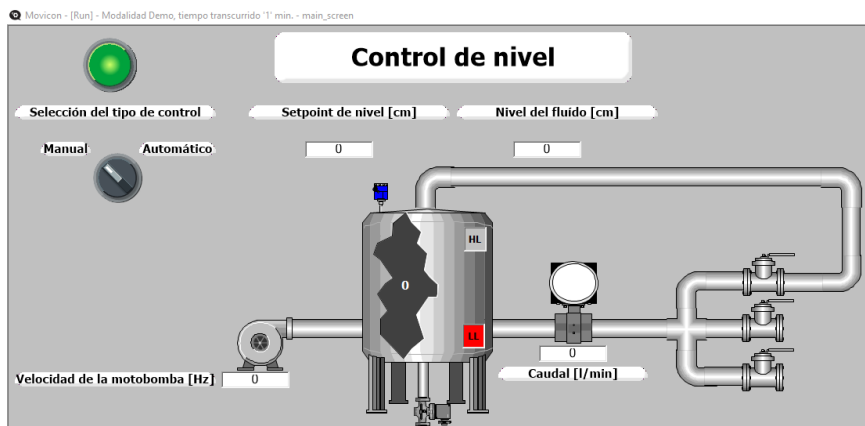
Fuente: Diseño Propio, (2020).

La sección 1 “Selección de tipo de control”, nos indica si estamos en el modo de control manual o automático, además cuando estamos en control automático, nos permite arrancar el modo automático desde el HMI.

La sección 2 “Visualización de señales y control en tiempo real”, nos permite elegir el setpoint de nivel requerido, visualizar en tiempo real el nivel actual del tanque y visualizar la frecuencia en tiempo real de la electrobomba y si está activada o no la electroválvula de purgado.

**Figura 91:**

*Sección de visualización del sistema de control de nivel.*



Fuente: Diseño Propio, (2020).

La sección 3, indica el estado actual del sistema de control, tiene 3 estados disponibles, el control manual activado, control automático activado y parada de emergencia activada.

**Figura 92:**

*Estados actuales del sistema disponibles.*

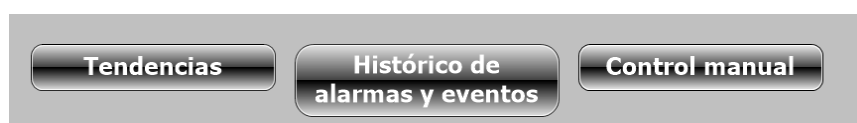


Fuente: Diseño Propio, (2020).

Y, por último, la sección 4 “Selección de pantallas secundarias”, la cual nos permite ver tendencias, histórico de alarmas y eventos y la pantalla de control manual.

**Figura 93:**

*Opciones de las pantallas secundarias.*



Fuente: Diseño Propio, (2020).

Las pantallas de tendencias nos permiten obtener una gráfica de las tendencias del nivel de líquido y de la frecuencia del motor, además en la pantalla de tendencia de nivel, nos permite modificar el setpoint cuando está en modo control automático.

**Figura 94:**

*Pantalla de tendencia de nivel.*



Fuente: Diseño Propio, (2020).

La pantalla de histórico de alarmas y eventos, nos permite visualizar las alarmas configuradas en el sistema de control, agregarles un indicador sonoro, resetearlas cuando no estén activas, etc.

**Figura 95:**

*Pantalla de Histórico de alarmas y eventos*



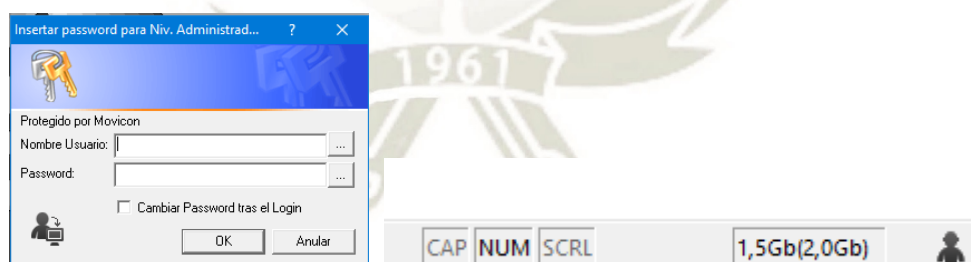


Fuente: Diseño Propio, (2020).

Y, por último, la pantalla de control manual. Para realizar cambios en esta pantalla, es preciso “loggearnos” antes, ya que solo están disponibles las modificaciones en esta pantalla en nivel administrador, cuando intentamos ingresar automáticamente se despliega la opción de “login”, y cuando el inicio de sesión es correcto en la esquina inferior de la pantalla aparece el símbolo de nivel administrador

### Figura 96

*Pantalla de inicio de sesión e indicador de “Login”.*

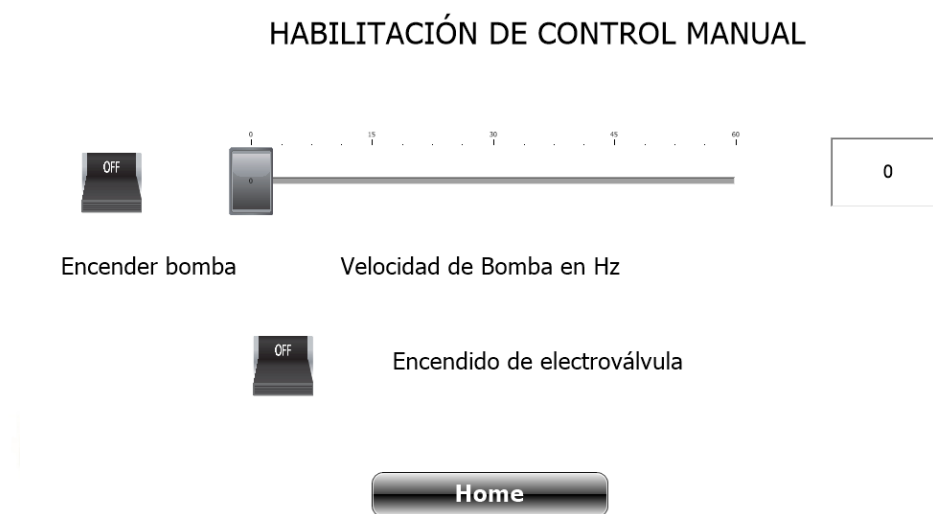


Fuente: Diseño Propio, (2020).

Una vez dentro de la opción de control manual, podemos controlar la velocidad de la bomba desde la pantalla y podemos apagar o encender la electroválvula de purgado.

**Figura 97:**

*Pantalla de la opción “Habilitación de control manual”.*



Fuente: Diseño Propio, (2020).



## CAPITULO V. PRUEBAS Y RESULTADOS FINALES

En el presente capítulo se desarrollarán las pruebas finales y comprobación del presente proyecto.

### 5.1. Prueba de Comunicación Modbus TCP

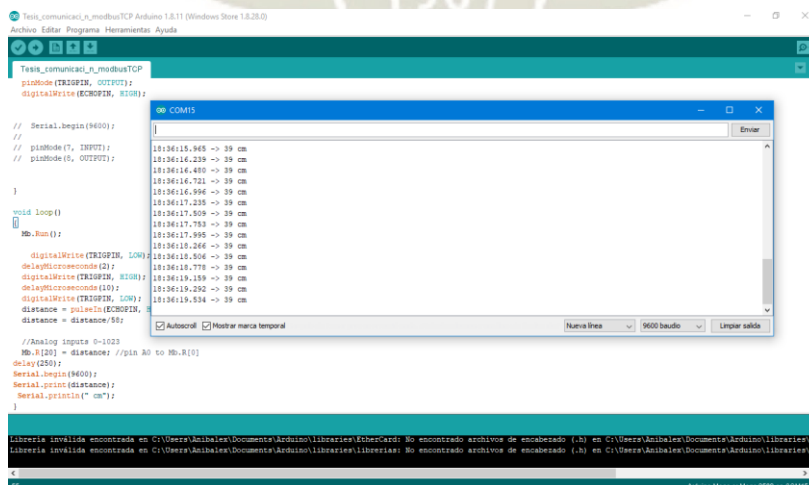
Como se ha venido explicando en el presente proyecto el controlador Arduino es quien recibe y procesa las señales de los sensores de caudal y nivel del tanque, esta señal procesada es enviada a través del protocolo MODBUS TCP al controlador principal.

Nuestro primer paso es validar que las señales de los sensores estén siendo procesadas de manera correcta por el Arduino, para ello encendemos la bomba de manera manual a su frecuencia mínima de 15 Hz.

Abrimos el software del controlador y cargamos el programa “Tesis\_comunicaci\_n\_modbusTCP.INO”, nos conectamos de manera serial al equipo y verificamos los valores procesados contra el real en campo (nivel del líquido).

**Figura 98:**

*Pantalla de comunicación serial entre Arduino y computador”.*



Fuente: Diseño Propio, (2019).



Para pruebas adicionales podemos incrementar la frecuencia del variador de velocidad directamente desde su HMI a fin de que aumente el nivel en el reservorio, o cerrar la válvula de salida del mismo.

Los valores en el software deben de coincidir con los valores reales del reservorio, si esto es así, el procesamiento de la señal es conforme.

Una vez terminadas estas pruebas cargamos el programa “Tesis\_comunicaci\_n\_modbusTCP.INO” al arduino.

## 5.2. Pruebas de Comunicación Modbus RTU

Al cerrar los interruptores que alimentan al PLC y al variador de velocidad, al estar estos configurados en sus parámetros internos para el protocolo de comunicación MODBUS RTU y el cableado físico ya se encuentra realizado, de existir algún problema en la comunicación se mostrará la falla “F72” de manera automática en el variador de velocidad y se generará una alarma en el programa.

### Figura 99:

*Pantalla de Alarma por comunicación entre Drive y PLC.*



Descripción de Alarma	Tiempo ON	Duración	Prioridad	Condición
 Alarma activa en Drive - Alarma activa en Drive	02/02/2020 20.2...		1	ON

Fuente: Diseño Propio, (2019).

De no existir ningún mensaje de error, la comunicación es exitosa.

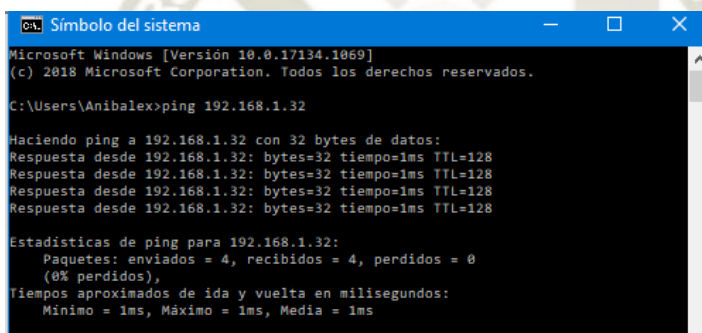
### 5.3. Pruebas de Comunicación del Computador - PLC – Arduino

Una vez garantizada la comunicación de manera independiente de los protocolos MODBUS TCP y MODBUS RTU, el siguiente paso es validar que la red local creada también sea exitosa y que las señales del Arduino y PLC (enviadas y recibidas) lleguen al computador para mostrarse en el HMI.

Para ello, una vez encendido todos los equipos se hace la verificación a través del ping con las direcciones IP configuradas tanto para el PLC como para el arduino.:

**Figura 100:**

*Envío de paquetes de Comunicación TCP/IP entre PC y Arduino.*



```

C:\> Símbolo del sistema
Microsoft Windows [Versión 10.0.17134.1069]
(c) 2018 Microsoft Corporation. Todos los derechos reservados.

C:\Users\Anibalex>ping 192.168.1.32

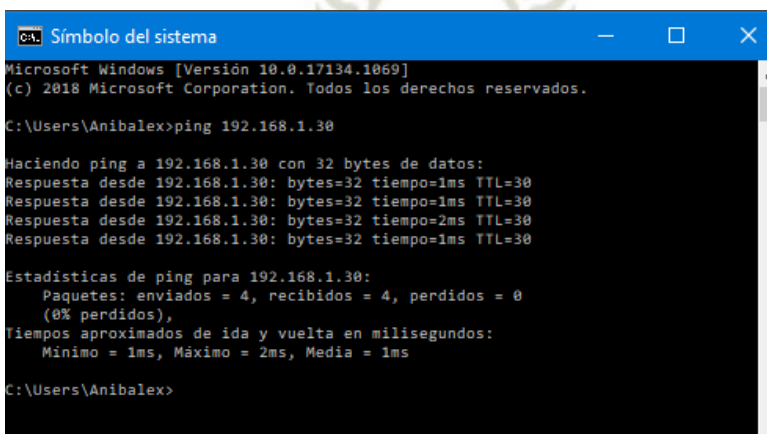
Haciendo ping a 192.168.1.32 con 32 bytes de datos:
Respuesta desde 192.168.1.32: bytes=32 tiempo=1ms TTL=128
Respuesta desde 192.168.1.32: bytes=32 tiempo=1ms TTL=128
Respuesta desde 192.168.1.32: bytes=32 tiempo=1ms TTL=128
Respuesta desde 192.168.1.32: bytes=32 tiempo=1ms TTL=128

Estadísticas de ping para 192.168.1.32:
    Paquetes: enviados = 4, recibidos = 4, perdidos = 0
              (0% perdidos),
    Tiempos aproximados de ida y vuelta en milisegundos:
        Mínimo = 1ms, Máximo = 1ms, Media = 1ms
    
```

Fuente: Diseño Propio, (2019).

**Figura 101:**

*Envío de paquetes de Comunicación TCP/IP entre PC y PLC.*



```

C:\> Símbolo del sistema
Microsoft Windows [Versión 10.0.17134.1069]
(c) 2018 Microsoft Corporation. Todos los derechos reservados.

C:\Users\Anibalex>ping 192.168.1.30

Haciendo ping a 192.168.1.30 con 32 bytes de datos:
Respuesta desde 192.168.1.30: bytes=32 tiempo=1ms TTL=30
Respuesta desde 192.168.1.30: bytes=32 tiempo=1ms TTL=30
Respuesta desde 192.168.1.30: bytes=32 tiempo=2ms TTL=30
Respuesta desde 192.168.1.30: bytes=32 tiempo=1ms TTL=30

Estadísticas de ping para 192.168.1.30:
    Paquetes: enviados = 4, recibidos = 4, perdidos = 0
              (0% perdidos),
    Tiempos aproximados de ida y vuelta en milisegundos:
        Mínimo = 1ms, Máximo = 2ms, Media = 1ms
    
```

Fuente: Diseño Propio, (2019).

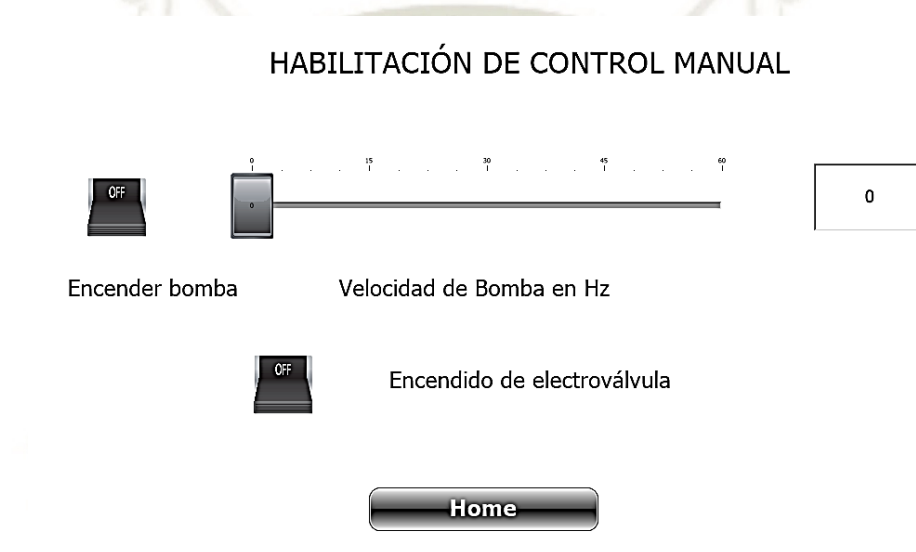
Los paquetes enviados deben de ser igual a los recibidos.

#### 5.4. Pruebas Manuales del Sistema

Para poder probar manualmente el módulo es necesario en el HMI seleccionar esta condición

**Figura 102:**

*Pantalla de control manual desde el HMI*



Fuente: Diseño Propio, (2019).

##### 5.4.1. Variación de frecuencia del variador:

Se varía la frecuencia desde el HMI a 15 Hz, 25 Hz y 35 Hz.

En la siguiente imagen se muestra la variación de nivel asociado a las frecuencias ingresadas:



**Figura 103:**

*Variación del nivel de líquido en función de la frecuencia*

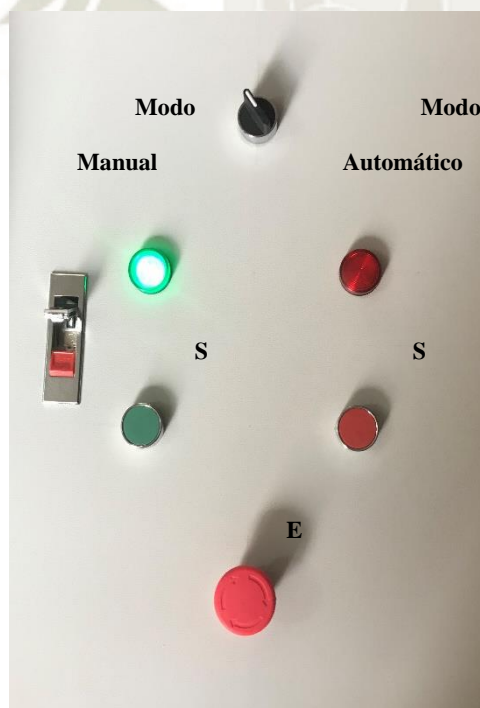


Fuente: Diseño Propio, (2019).

En el tablero de control el indicador verde de “Bomba Encendida”, funciona correctamente.

**Figura 104:**

*Indicación de “Bomba encendida”*



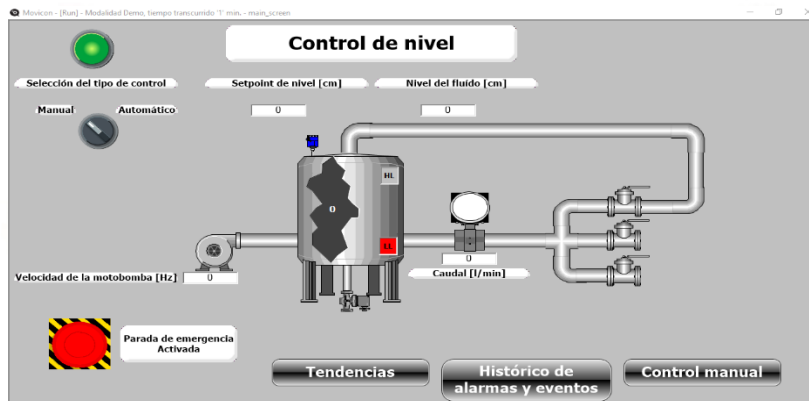
Fuente: Diseño Propio, (2019).

#### 5.4.2. Activación de parada de emergencia

Presionamos el PushBotton del tablero de Control y la bomba para de manera automática y la electroválvula se activada.

**Figura 105:**

*Activación de parada de Emergencia*

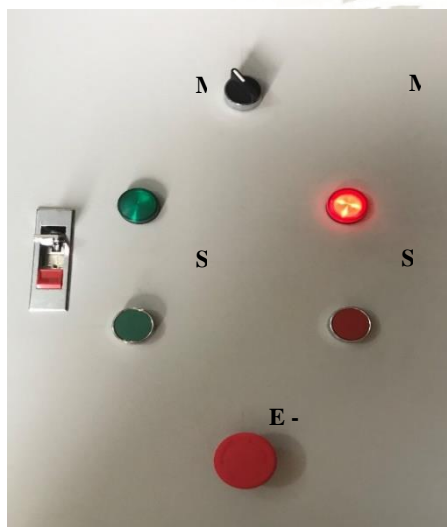


Fuente: Diseño Propio, (2019).

En el tablero de control se activa el indicador de color rojo de “Bomba Apagada”, de acuerdo a lo establecido en la lógica.

**Figura 106:**

*Indicación de “bomba Apagada”*



Fuente: Diseño Propio, (2019).

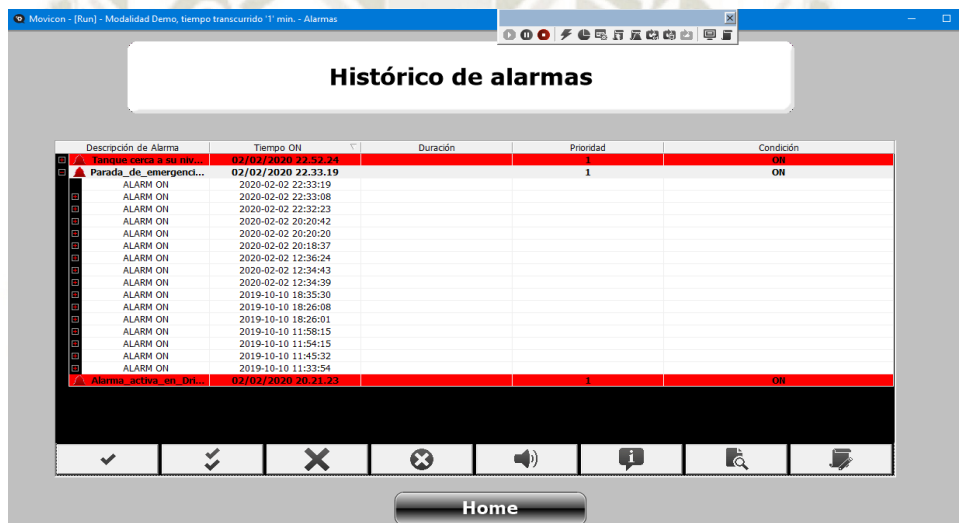
### 5.4.3. Activación del nivel máximo del tanque de descarga

La prueba se puede realizar de 2 maneras, una activando el sensor tipo boya de manera manual (forzar la señal) y una segunda cerrando la válvula de salida del tanque e incrementar el nivel real dentro de él de manera controlado, de tal forma que, sea el mismo nivel quien active el sensor tipo boya.

Al activarse esta protección también debería hacerlo la electroválvula de purga.

**Figura 107:**

*Alarma en HMI por nivel Alto*



Descripción de Alarma	Tiempo ON	Duración	Prioridad	Condición
Tanque censa a su niv...	02/02/2020 22:52:24		1	ON
Parada de emergenc...	02/02/2020 22:33:19		1	ON
ALARM ON	2020-02-02 22:33:19			
ALARM ON	2020-02-02 22:33:08			
ALARM ON	2020-02-02 22:32:23			
ALARM ON	2020-02-02 20:20:42			
ALARM ON	2020-02-02 20:20:20			
ALARM ON	2020-02-02 20:18:37			
ALARM ON	2020-02-02 12:36:24			
ALARM ON	2020-02-02 12:34:43			
ALARM ON	2020-02-02 12:34:39			
ALARM ON	2019-10-10 18:35:30			
ALARM ON	2019-10-10 18:26:08			
ALARM ON	2019-10-10 18:26:01			
ALARM ON	2019-10-10 11:58:15			
ALARM ON	2019-10-10 11:54:15			
ALARM ON	2019-10-10 11:45:32			
ALARM ON	2019-10-10 11:33:54			
Alarma activa en Ori...	02/02/2020 20:21:23		1	ON

Fuente: *Diseño Propio*, (2019).

Las pruebas realizadas resultaron satisfactorias.

En el Tablero de control se realiza el cambio de bomba “Encendida” a bomba “Apagada”.

### 5.5. Pruebas Control Automático

Con la comunicación iniciada y sin fallas presentes en el HMI ni en el display del variador procedes a realizar las pruebas del controlador PID con los valores hallados en el capítulo anterior.



$$k_p = 4.29$$

$$k_i = 12.82$$

$$k_d = 3.24$$

Comenzamos con el tanque vacío e introduciendo un setpoint de 70 cm de nivel, en la gráfica se puede observar que el sistema llega al setpoint con un máximo sobreimpulso mínimo y un tiempo de establecimiento de aproximadamente 45 segundos (cada división del gráfico representa 25 segundos).

La tendencia de color amarilla representa el setpoint ingresado y la tendencia de color rojo representa el nivel de nivel entregado por el sensor ultrasónico.

**Figura 108:**

*Prueba 1 Sistema de Control*



Fuente: *Diseño Propio, (2020).*

Se procedió a probar con otros setpoint, en la imagen se observa que se ingresó el segundo setpoint de 45 centímetros y el tercer setpoint de 20 centímetros.

**Figura 109:**

*Prueba 2 Sistema de Control*

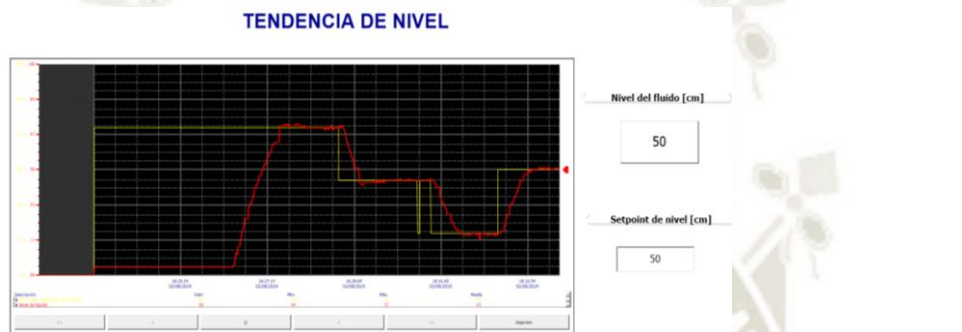


Fuente: *Diseño Propio, (2020).*

En la siguiente imagen se ingresó el setpoint de 50 centímetros para comprobar su correcto funcionamiento con setpoints por encima del actual, funcionando como se esperaba.

**Figura 110:**

*Prueba 03 Sistema de Control*



Fuente: *Diseño Propio*, (2020).

Por último, se hizo una prueba, ingresando una perturbación al sensor de nivel, para que la consigna del nivel de líquido cambie, se ingresó la perturbación y se retiró y el sistema alcanzó el setpoint sin problema alguno.

**Figura 111:**

*Prueba 04 con Perturbación Sistema de Control*



Fuente: *Diseño Propio*, (2020).

## CAPITULO VI. PRESUPUESTO DEL MÓDULO DE CONTROL

### 6.1. Presupuesto de dispositivos eléctricos

A continuación, se detalla en la tabla 18 el presupuesto correspondiente a los componentes eléctricos del proyecto, estos valores están en soles e incluyen IGV.

**Tabla 18:**

*Presupuesto de dispositivos eléctricos*

ITEM	DESCRIPCIÓN	CANT	P.U. S/ MATERIAL	P.T. S/ MATERIAL	P.T. S/ INSTAL/FABRIC	TOTAL
1.1	Simatic S7-1200, CPU 1212c, 8 DI 24V DC; 6 DO relay 2A; 2 AI 0 - 10V DC, Supply: 220 VAC	1	995.87	995.87		995.87
1.2	Simatic S7-1200, communication board CB 1241, RS485, bloque de bornes , soporta freeport	1	279.80	279.80		279.80
1.3	Sinamics V20 1AC200-240V -10/+10% 47-63Hz rated power 0,37KW with 150% overload for 60sec Filter B I/O Interface: 4DI, 2DO,2AI,1AO Fieldbus: USS/ Modbus RTU with inbuilt bop protection: IP20/ ul open type size:FSAA 68x142x108(wxhxd)	1	531.99	531.99		531.99
1.4	Sensor de nivel JSN-SR04-2.0	1	90.00	90.00		90.00
1.5	Circuit breaker siemens 5SY6104-7	1	129.15	129.15		129.15
1.6	Arduino mega 2560 R3	1	70.00	70.00		70.00
1.7	Circuit breaker schneider EZ9F56216	1	40.76	40.76		40.76
1.8	Shield ethernet W5100	1	40.00	40.00		40.00
1.9	Sensor de nivel de líquido ON/OFF	2	10.00	20.00		20.00
1.10	Sensor de distancia infrarrojo	1	45.00	45.00		45.00
1.11	Sensor de distancia ultrasónico	1	18.00	18.00		18.00
1.12	Tablero eléctrico	1	90.00	90.00		90.00
1.13	Luz piloto	2	9.00	18.00		18.00
1.14	Botoneras	2	10.00	20.00		20.00
1.15	Parada de emergencia	1	17.00	17.00		17.00
1.16	Canaletas, cableado, terminales, herramientas y otros	1	500.00	500.00		500.00
	Total			2905.57	0.00	2905.57

Fuente: Propia, (2020)



## 6.2. Presupuesto de componentes hidráulicos

A continuación, se detalla en la tabla 19 el presupuesto correspondiente a los componentes hidráulicos del proyecto, estos valores están en soles e incluyen IGV.

**Tabla 19:**

Presupuesto de dispositivos hidráulicos

ITEM	DESCRIPCIÓN	CANT	P.U. S/ MATERIAL	P.T. S/ MATERI AL	P.T. S/ INSTAL/F ABRIC	TOTAL
2.1	Bomba centrífuga	1	650.00	650.00		650.00
2.2	Tanque de polietileno	1	70.00	70.00		70.00
2.3	Válvula solenoide de 3/4" 220VAC	1	135.00	135.00		135.00
2.4	Codo FG 90° 1/2"	8	6.10	48.80		48.80
2.5	Tee FG 1 1/2"	3	8.30	24.90		24.90
2.6	Unión univ. FG 1 1/2"	4	16.00	64.00		64.00
2.7	Reducción campana FG 2"	3	7.60	22.80		22.80
2.8	Reducción campana FG 1 1/2" - 3/4"	2	5.00	10.00		10.00
2.9	Reducción bushing 1 1/2" 1/2"	1	4.10	4.10		4.10
2.10	Reducción bushing 1 1/2" 3/4"	1	2.60	2.60		2.60
2.11	Cinta teflón	10	0.60	6.00		6.00
2.12	Tornillos 4.5 x 30 mm	24	0.10	2.40		2.40
2.13	Abrazaderas 1/2	12	0.75	9.00		9.00
2.14	Manómetro	1	23.80	23.80		23.80
2.15	Tuberías FG varias	1	85.00	85.00		85.00
	Total			1158.40	0.00	1158.40

Fuente: Propia, (2020)

### 6.3. Presupuesto de estructura del módulo

A continuación, se detalla en la tabla 20 el presupuesto correspondiente a la estructura del módulo, estos valores están en soles e incluyen IGV.

**Tabla 20:**

Presupuesto de estructura del módulo

ITEM	DESCRIPCIÓN	CANT	P.U. S/ MATERIAL	P.T. S/ MATERI AL	P.T. S/ INSTAL/F ABRIC	TOTAL
3.1	Garruchas con freno	2	25.00	50.00		50.00
3.2	Garruchas sin freno	2	19.00	38.00		38.00
3.3	Estructura del módulo	1	450.00	450.00	400.00	850.00
3.4	Estructura base de tablero eléctrico	1	200.00	200.00	150.00	350.00
	Total			738.00	550.00	1288.00

Fuente: Propia, (2020)

### 6.4. Presupuesto de servicios adicionales

A continuación, se detalla en la tabla 21 el presupuesto correspondiente a servicios adicionales, estos valores están en soles e incluyen IGV.

**Tabla 21:**

Presupuesto de servicios adicionales

ITEM	DESCRIPCIÓN	CANT	P.U. S/ MATERIAL	P.T. S/ MATERI AL	P.T. S/ INSTAL/F ABRIC	TOTAL
4.1	Trabajos de soldadura	1			400.00	400.00
4.2	Trabajos de conexiones hidráulicas	1			250.00	250.00
4.3	Trabajos de pintura	1			150.00	150.00
	Total			0.00	800.00	800.00

Fuente: Propia, (2020)

## 6.5. Resumen del presupuesto total

Finalmente, se detalla en la tabla 22 el resumen presupuesto correspondiente al módulo de control completo, estos valores están en soles e incluyen IGV.

**Tabla 22:**

Presupuesto de servicios adicionales

ITEM	DESCRIPCIÓN	CANT	P.U. S/ MATERIAL	P.T. S/ MATERI AL	P.T. S/ INSTAL/F ABRIC	TOTAL
1	Dispositivos electrónicos			2905.57	0.00	2905.57
2	Componentes hidráulicos			1158.40	0.00	1158.40
3	Estructura			738.00	550.00	1288.00
4	Servicios adicionales			0.00	800.00	800.00
	Total			4801.97	1350.00	6151.97

Fuente: Propia, (2020)



## CONCLUSIONES

1. Se ha diseñado un módulo de control de nivel de agua donde la mejor estrategia de control encontrada es del tipo PID con anti-Windup, obteniendo respuestas entre 20 y 35 y sobreimpulsos máximos de 3% y sin presentar errores de estado estacionario.
2. Los valores del controlador PID finales fueron encontrados a través del método empírico y afinados mediante el software TIA PORTAL que cuentan con un módulo de sintonización el cual se puede utilizar una vez todo el sistema está construido.
3. Se desarrolla la lógica de control integral complementaria al PID, que incluye la integración de nuevas señales y presencia de alarmas, de tal forma que permite una operación segura y óptima de la planta.
4. Se desarrolla una interfaz hombre máquina en el software MOVICOM que nos permitió monitorear y controlar en tiempo real y de manera efectiva todas las variables del proceso. Entrega un entorno bastante amigable y entendible para el Operador.
5. Se estableció de manera correcta la comunicación entre el PLC y el variador de velocidad mediante el protocolo MODBUS RTU, así como la comunicación del PLC y el Arduino mediante el protocolo de comunicación MODBUS TCP/IP.

Dichos protocolos permiten velocidades de comunicación bastante cortas por ello que son ampliamente utilizados en la industria moderna.

6. El software abierto Arduino ha desarrollado distintos complementos (Shields, sensores) que permiten su integración en distintos sistemas de control manejados por distintas marcas, en este caso se integró con la marca SIEMENS.



## RECOMENDACIONES

1. Realizar ampliaciones al sistema, incrementando la cantidad de bombas. El protocolo MODBUS permite comunicarse hasta con 32 dispositivos por cada segmento de red, dicha ampliación requerirá el uso de amplificadoras.
2. El PLC S7-1200 permite la creación de un servidor web en el cual se puede visualizar datos del proceso o incluso crear un HMI web y a en conjunto a una red inalámbrica se pueden controlar todas las funciones del módulo de una manera remota.
3. Incluir una variable de control adicional utilizando el caudalímetro instalado en la línea de descarga, esta variable del proceso enviarla a través del protocolo MODBUS / TCP y verificar los resultados.
4. Para iniciar con la operación del módulo es necesario verificar los niveles en ambos tanques, de tal forma que el nivel mínimo del tanque de succión siempre este por debajo de la línea de la bomba para evitar que esta cavite, así mismo, cuando se tenga el nivel máximo en el tanque de descarga, validar condición mínima de agua en la succión.
5. El software MOVICON cuenta con múltiples drivers de comunicación que permitirían el intercambio de datos entre diferentes dispositivos de campo de diferentes fabricantes, por lo cual, el módulo se puede ampliar agregando incluso un módulo similar con un controlador diferente, integrados ambos por el HMI.



## REFERENCIAS

- Automation Consulting & Supply, Inc (2007). *Torque, Horsepower and Drives*.
- Bachus, L., Custodio, A., (2003). *Know and understand centrifugal Pumps*, Oxford:  
Elsevier
- Baldor Electric Company (2014). Recuperado de [www.baldor.com/](http://www.baldor.com/)
- Ballen, J., Gonzales, M. & Rojas, A. (S.F). *Sistema de control análogo de flujo y nivel de líquido*. Recuperado de:  
[http://www.profesaulosuna.com/data/files/ELECTRONICA/INSTRUMENTACION/CONTROL%20DE%20FLUJO/control%2520nivel%2520y%2520flujo\(Ballen,Rojas,Gonzalez\).pdf](http://www.profesaulosuna.com/data/files/ELECTRONICA/INSTRUMENTACION/CONTROL%20DE%20FLUJO/control%2520nivel%2520y%2520flujo(Ballen,Rojas,Gonzalez).pdf)
- Banco interamericano de desarrollo, (2011). *Evaluación de sistemas de bombeo de agua, Manual de Eficiencia energética primera edición*, Washington DC.
- Baldor Electric Company (2010). *Baldor-Reliancer*, Recuperado de [www.reliance.com/mtr/mtrthrmn.htm](http://www.reliance.com/mtr/mtrthrmn.htm)
- Barrera Chinchilla, M.A., (2011). *Diseño de sistema de agua potable por gravedad y bombeo en la aldea joconal y escuela primaria en la aldea campanario progreso, municipio de la unión, departamento de Zacapa*, Recuperado de:  
[http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08\\_3270\\_C.pdf](http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_3270_C.pdf)
- Chacca, E., & Siles, F. (2012). *Diseño e Implementación de un módulo de caudal controlado por PLC y supervisión de proceso mediante SCADA* (tesis de pregrado). Universidad Católica de Santa María, Arequipa, Perú.
- Chapman, S. (2012). *Máquinas eléctricas*. México: Mc Graw Hill.

- CONAGUA (S.F). *Manual de agua potable, alcantarillado y saneamiento, Conducciones*, Recuperado de: <http://aneas.com.mx/wp-content/uploads/2016/04/SGAPDS-1-15-Libro10.pdf>
- Creus, A. (1988). *Control de procesos industriales*. Barcelona: MARCOMBO, SA.
- Creus, A. (2010). *Instrumentación industrial*. México: Alfaomega Grupo Editor
- Darby, R., (2001). *Chemical engineering fluids mechanics*, New York: Dekker.
- Guerrero V., Yuste R. & Martínez L. (2010). *Comunicaciones industriales*. México: Alfaomega.
- Gunt Hamburg. *Maquinas fluidomecánicas hidráulicas*, Recuperado de: [https://www.gunt.de/images/download/positive-displacement-pumps\\_spanish.pdf](https://www.gunt.de/images/download/positive-displacement-pumps_spanish.pdf)
- Kenneth, J., (1988). *Bombas Selección, uso y mantenimiento*, Mexico: MCGraw Hill.
- King, R.P., (2002). *Introduction to practical fluid flow*, Oxford: Butterworth Heinemann
- Kuo B. (1996). *Sistemas de control automático*. México: Prentice Hall Hispanoamerica, S.A.
- Martinez Menes M.R., Fernandez Reynoso D.S., Castillo Vega R., et al, (S.F). *Líneas de conducción por gravedad*, Recuperado de: [http://www.profesaulosuna.com/data/files/ELECTRONICA/INSTRUMENTACION/CONTROL%20DE%20FLUJO/control%2520nivel%2520y%2520flujo\(Ballen,Rojas,Gonzalez\).pdf](http://www.profesaulosuna.com/data/files/ELECTRONICA/INSTRUMENTACION/CONTROL%20DE%20FLUJO/control%2520nivel%2520y%2520flujo(Ballen,Rojas,Gonzalez).pdf)
- Ogata, K. (2010). *Ingeniería de control moderna*. Madrid: Pearson Education, S.A.
- Pareesh Girdhar, B., Octo Moniz (2005). *Practical centrifugal Pumps*, Design, operation and maintenance, Oxford: Elsevier.

Picuino, (S.F), *Control PID*, Recuperado de:

<https://www.picuino.com/es/arduprog/control-pid.html>

Richmond Salazar E., (2009), *Diseño y construcción de una interfaz de control de nivel, temperatura y flujo de agua en un tanque para uso en prácticas de laboratorio*,

Recuperado de:

<http://www.kerwa.ucr.ac.cr/bitstream/handle/10669/537/DocumentoFinal.pdf?sequence=1>

Robicon (2010), Recuperado de: [www.robicon.com/library/acrobat/adjspeed.pdf](http://www.robicon.com/library/acrobat/adjspeed.pdf)

Rosado, A. (2009). *Sistemas industriales distribuidos*, Universidad de Valencia.

Saavedra J.A., (2007). *Control de presión de agua mediante variador de frecuencia y Motobomba* (tesis de pregrado). Universidad de Magallanes, Punta Arenas, Chile.

Siemens, (2016), *Hands-on: Sinamics V20, tottaly Integrated Automation Tour*,

Recuperado de: [www.siemens.cl](http://www.siemens.cl)

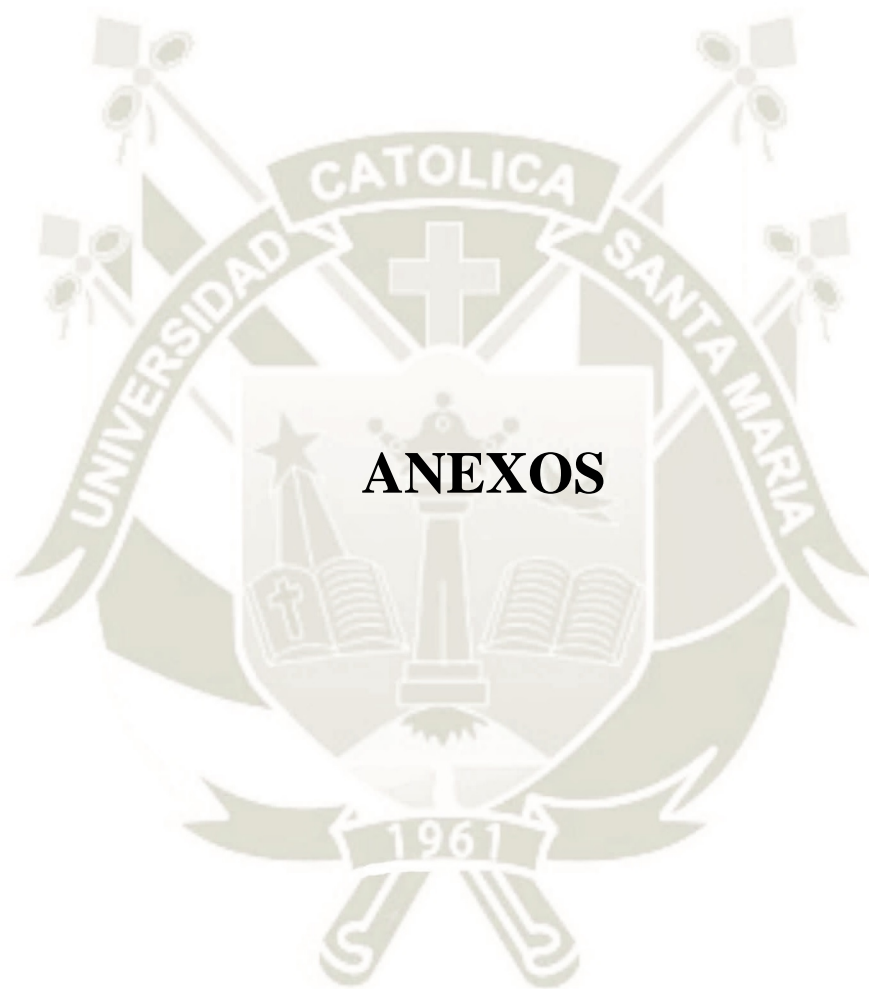
Siemens, (S.F.), *Convertidor SINAMICS V20, Instrucciones de servicio resumidas*.

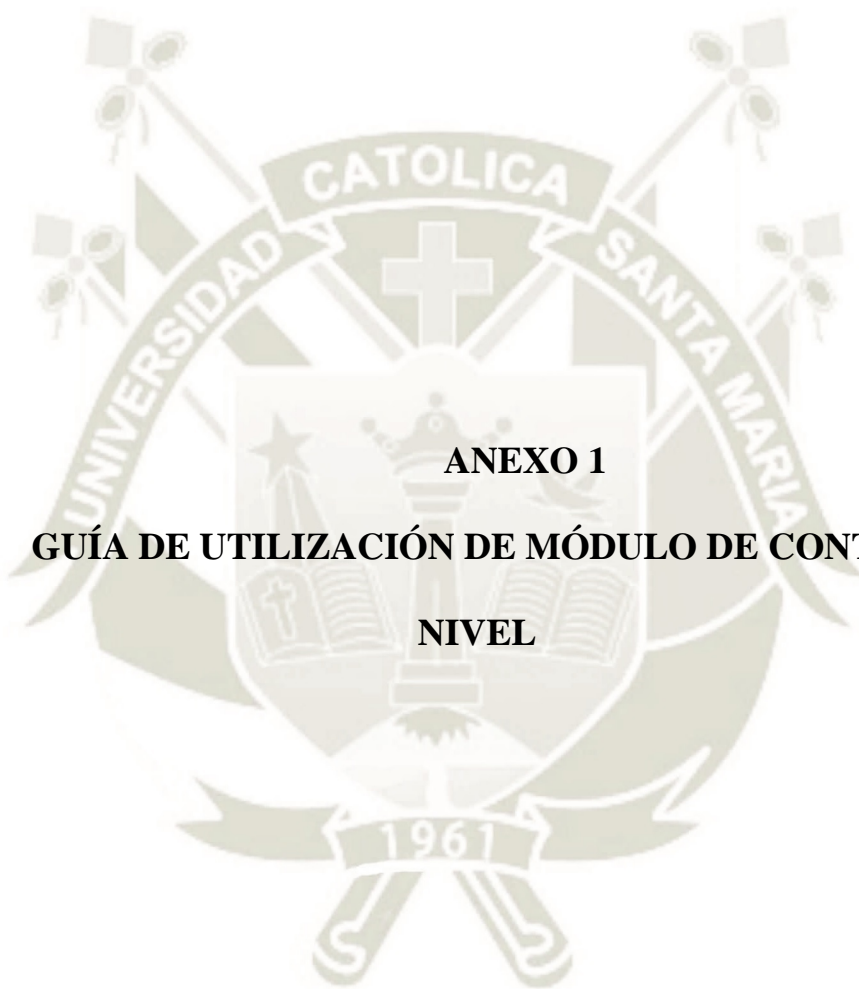
Recuperado de: <https://w5.siemens.com/spain/web/es/el-futuro-de-la-industria/accionamientos/sinamics/Documents/Instrucciones-servicio-resumidas-Sinamics-V20-2016.pdf>

Simatic, (2016), *S7 Controlador Programable S7-1200, Manual del sistema*.

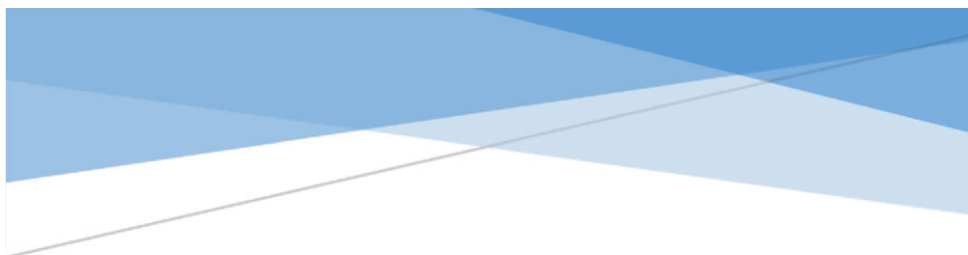
Valdivia, C. (2012). 1ª edición. *Sistemas de control continuos y discretos*, Ediciones Paraninfo, SA.







**ANEXO 1**  
**GUÍA DE UTILIZACIÓN DE MÓDULO DE CONTROL DE**  
**NIVEL**



## GUÍA DE UTILIZACIÓN

### OBJETIVOS:

Conocer el correcto procedimiento del uso del módulo de control de nivel desarrollado como parte del proyecto de tesis.

Conocer los alcances de diseño y funcionamiento del módulo de nivel.

### CONTENIDO

Introducción

**Inicialmente, en el HMI desarrollado para la interfaz amigable y sencilla con el módulo de control de nivel, se mostrará la carátula del proyecto y un botón para acceder a la página principal.**



*Ilustración 1: Carátula del HMI*



El desarrollo del manual de utilización del módulo se dividirá en los dos modos de uso del módulo, el modo manual y el modo automático.

### 1. Modo manual

Para seleccionar el modo manual del módulo de control, mover el selector a la opción izquierda, inicialmente el indicador rojo del tablero se encontrará encendido, como se puede apreciar en la ilustración 2. En la pantalla del HMI, en la sección de barra de estados, se mostrará que la opción manual está activada, pero sin iniciarse, tal como se muestra en la ilustración 3.

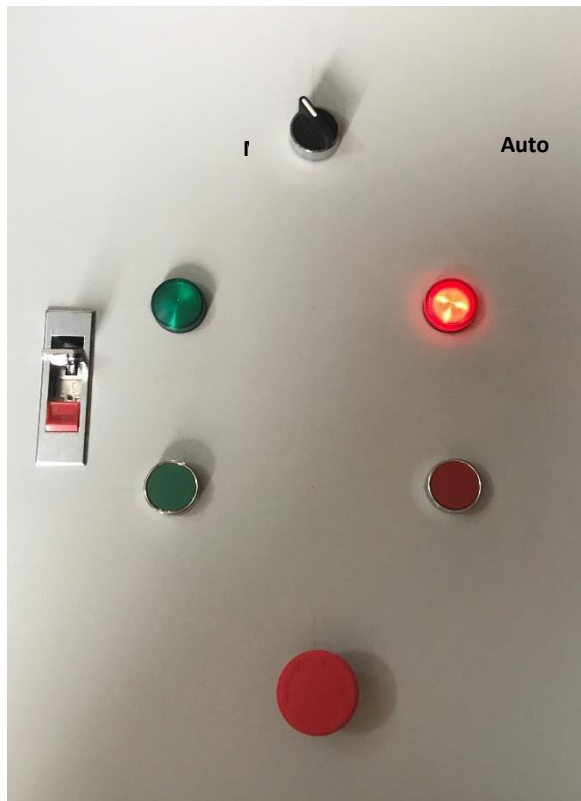


Ilustración 2: Indicador del tablero el modo manual y OFF.

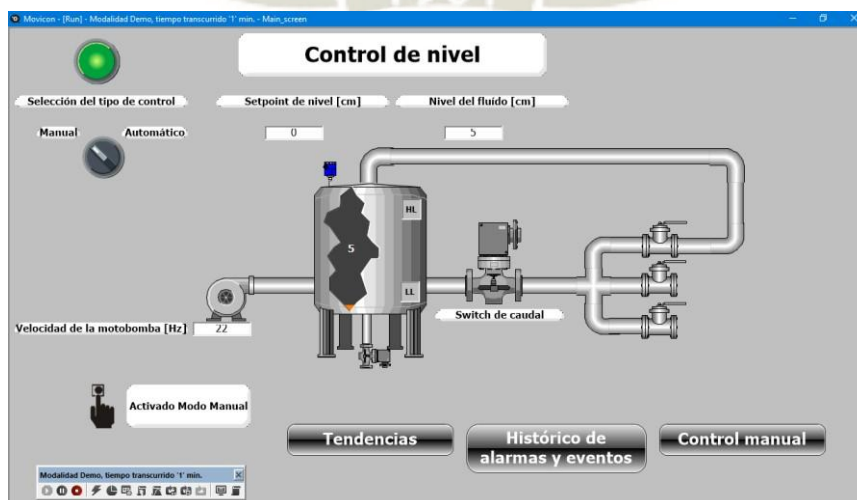


Ilustración 3: Pantalla del HMI en modo manual y OFF

Para iniciar el modo manual, se debe presionar el pulsador verde del tablero, luego de presionarlo, el indicador verde del tablero se encenderá y el rojo se apagará, como se aprecia en la ilustración 4.

En el HMI, el indicador ubicado en la esquina superior izquierda se encenderá, así como el indicador de la bomba como se aprecia en la ilustración 5.



Ilustración 4: Indicador del tablero el modo manual y ON.

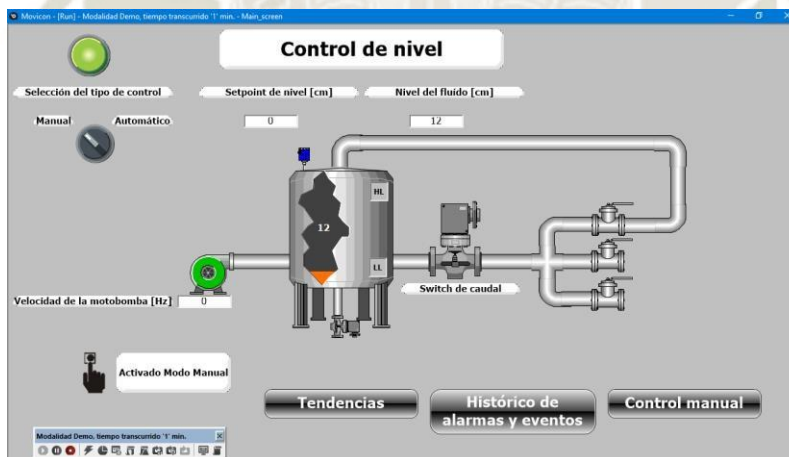


Ilustración 5: Pantalla del HMI en modo manual y ON

En esta condición, se puede activar la bomba desde el HMI, para poder elegir la frecuencia de la alimentación de la bomba, desde el HMI se deberá hacer clic en la bomba y se desplegará una pantalla para ingresar la frecuencia de alimentación de la bomba por pantalla o por teclado. De esta manera se puede seleccionar manualmente la velocidad de giro de la bomba ingresando un valor del 0 al 60, que representa la frecuencia de la alimentación de la bomba.



Ilustración 6: Ingreso de la velocidad del motor por pantalla.

Para acceder a más accesos para el control manual, se tiene que acceder a la opción “Control manual” en la pantalla del HMI, cuando se seleccione esta opción, el software Movicon solicitará ingresar una clave y contraseña, como en la ilustración 8, los espacios deberán llenarse con “Developer” en Nombre de usuario y “arduino” en password, en ambos casos sin las comillas. Cuando el login se haya completado, en la barra inferior del HMI aparecerá un ícono de un hombre y se podrá acceder a una nueva pantalla.

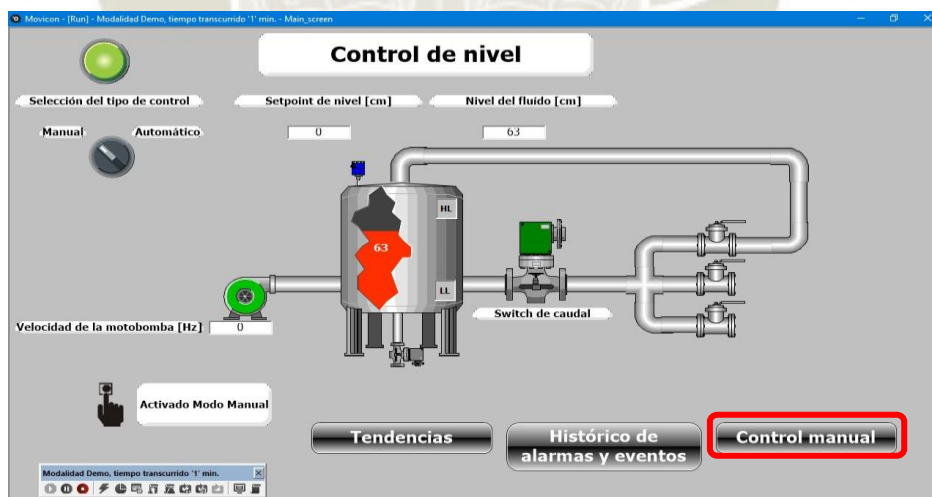
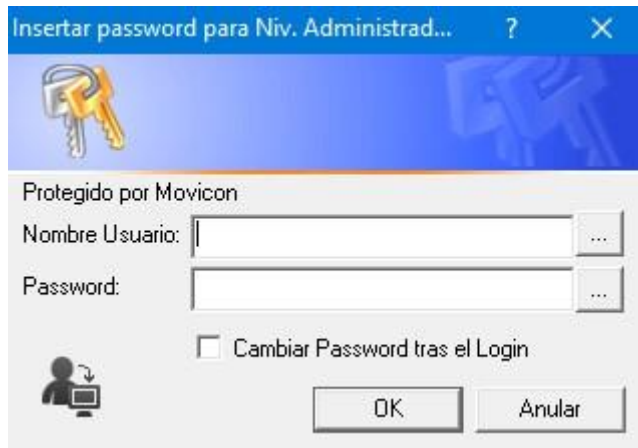


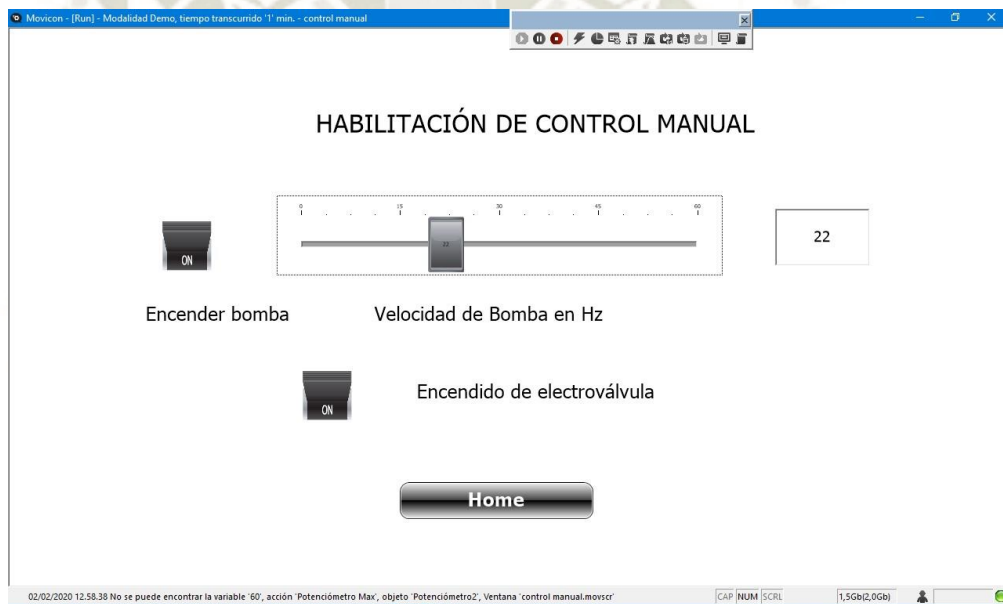
Ilustración 7: Acceso a la pantalla de control manual





*Ilustración 8. Login del modo manual.*

En esta nueva pantalla, se podrá acceder a apagar o prender la bomba, cambiar su velocidad moviendo la barra o ingresando directamente el valor de la frecuencia requerida y apagar o encender la electroválvula de purgado del módulo.



*Ilustración 9: Opciones en la pantalla de control manual.*

## 2. Modo automático

Para seleccionar el modo automático del módulo de control, mover el selector a la opción derecha, inicialmente el indicador rojo del tablero se encontrará encendido, como se puede apreciar en la ilustración 10. En la pantalla del HMI, el indicador de modo mostrará que la opción automática está activada, pero sin iniciarse, tal como se muestra en la ilustración 11.

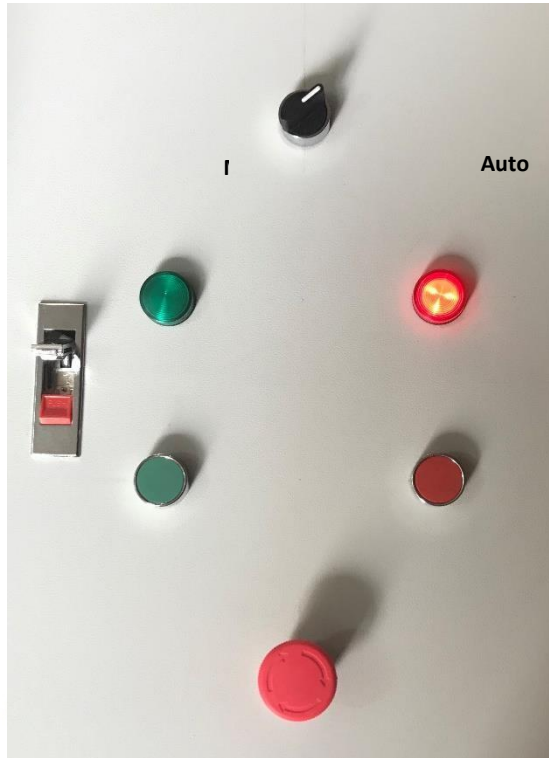


Ilustración 10: Indicador del tablero el modo automático y OFF.

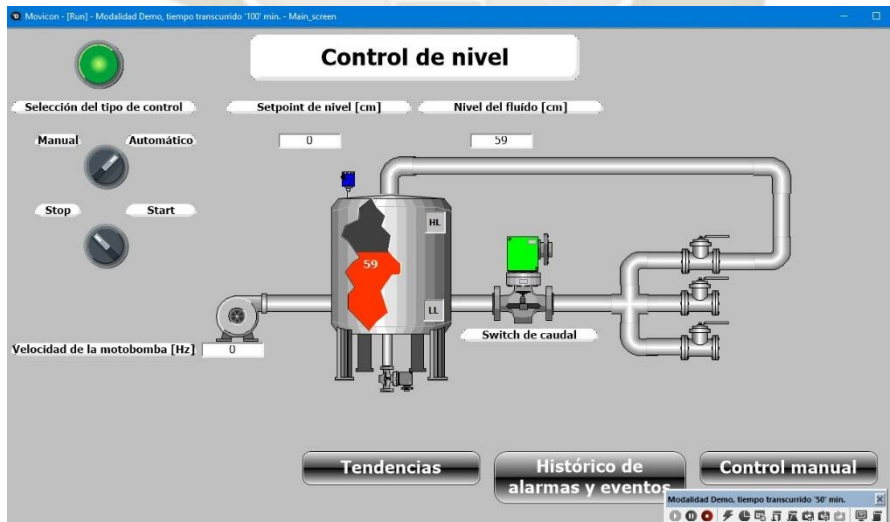


Ilustración 11: Pantalla del HMI en modo automático y OFF

Para iniciar el modo automático, se debe presionar el selector Stop/Start en la pantalla del HMI, luego de presionarlo, el indicador verde del tablero se encenderá y el rojo se apagará, como se aprecia en la ilustración 12.

En el HMI, el indicador ubicado en la esquina superior izquierda se encenderá, así como el ícono en la barra de estado que indicará que el modo automático está trabajando tal como aparece en la ilustración 13.



Ilustración 12: Indicador del tablero el modo automático y ON.

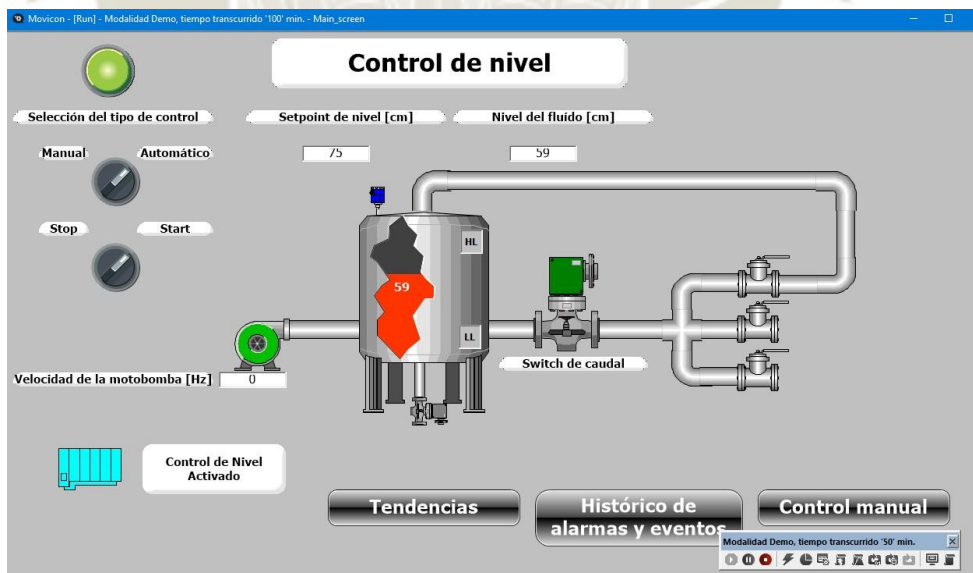


Ilustración 13: Pantalla del HMI en modo automático y ON



En este modo no es necesario ingresar un valor de velocidad de la bomba, ya que esta será automáticamente dada por el control PID del módulo.

En este modo, bastará con ingresar el setpoint de nivel y el sistema calculará la frecuencia de la bomba necesaria para llegar y mantenerse en el setpoint ingresado hasta que este sea cambiado por el usuario.

Para seleccionar el setpoint, se deberá hacer clic en el valor del setpoint de la pantalla e ingresar el valor requerido, como se aprecia en la ilustración 14.

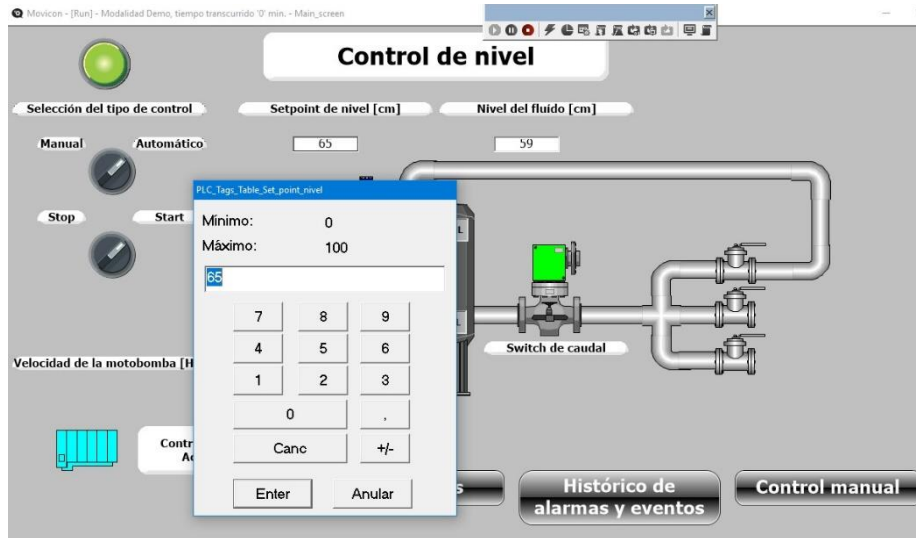


Ilustración 14: Ingreso del setpoint de nivel.

### 3. Activación de la parada de emergencia

El botón de emergencia en el tablero detendrá el funcionamiento de la bomba tanto en modo manual como modo automático y activará el encendido de la electroválvula de descarga. En la ilustración 15 se muestra la botonera para la parada de emergencia.

Al presionar la parada de emergencia, en la barra de estado se mostrará que la parada de emergencia fue activada como se aprecia en la ilustración 16 y que cual sea el modo seleccionado se irá automáticamente a OFF.

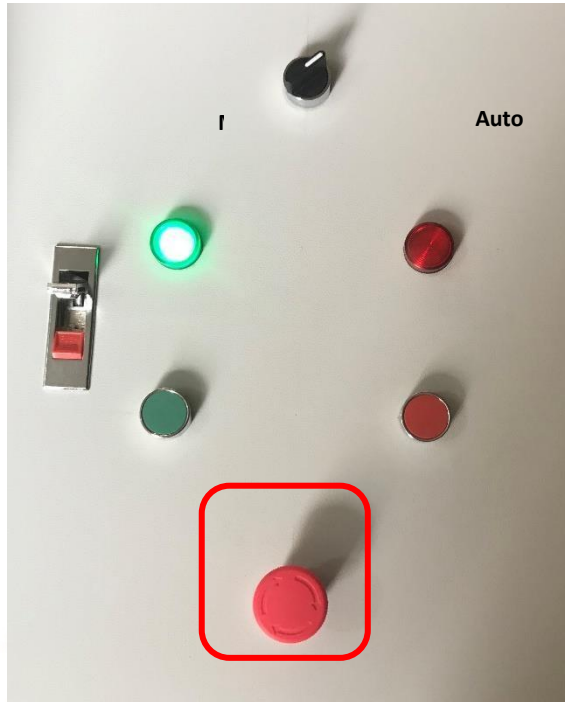


Ilustración 15: Parada de emergencia en el tablero eléctrico.

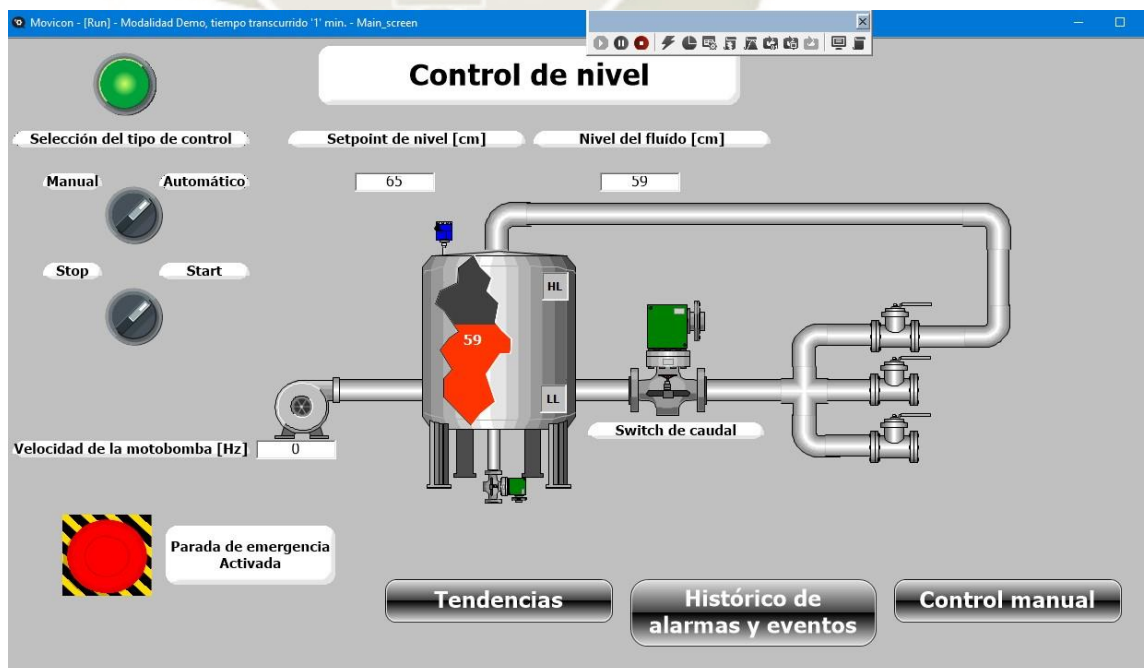


Ilustración 16: Visualización de la activación de la parada de emergencia en HMI.

#### 4. Tendencias

Otra de las pantallas disponibles en el HMI es la opción “Tendencias”, para acceder a ella se debe hacer clic en el ícono del mismo nombre en la pantalla principal, como se aprecia en la ilustración

17.

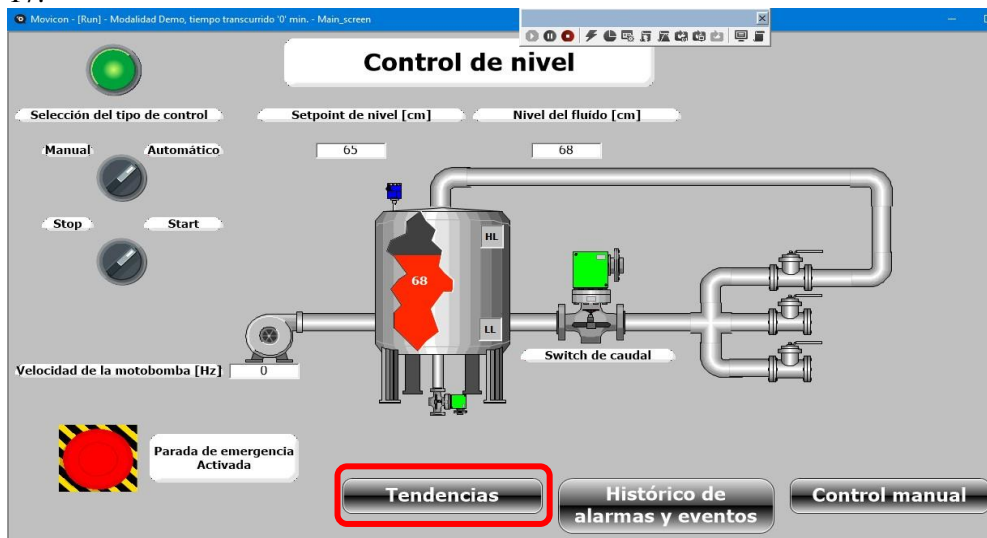


Ilustración 17: Opción tendencias en el HMI.

Al hacer clic en el botón Tendencias, nos enviará a una nueva pantalla donde podemos ver gráficamente el cambio en el tiempo de las variables de nivel de líquido y velocidad de la bomba, además en la pantalla de Tendencia de nivel, podemos cambiar el setpoint para visualizar como el valor medido por el sensor o valor real busca llegar al valor de setpoint.



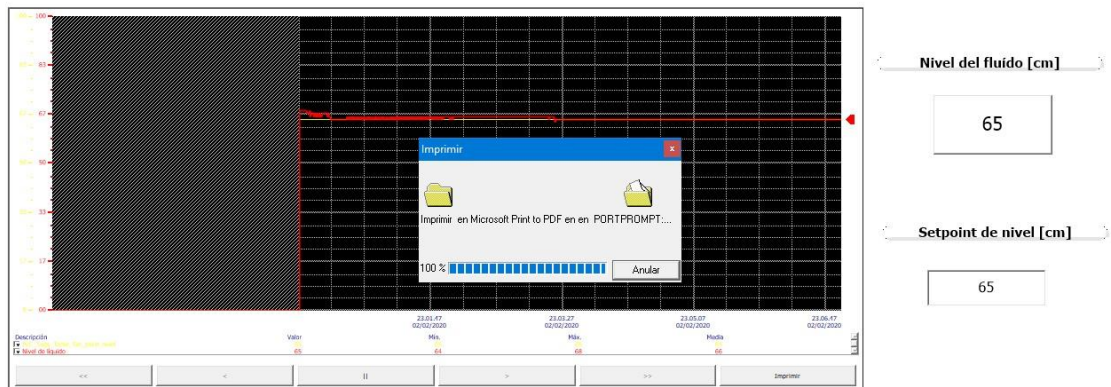
Ilustración 18: Pantalla de tendencias de nivel de líquido

Además, dentro de esta pantalla tendremos las opciones de observar el valor actual, el valor mínimo, máximo y media, avanzar y retroceder la gráfica en el tiempo e incluso imprimirla.





### TENDENCIA DE NIVEL



HOME

T. de Velocidad

Ilustración 19: Impresión en PDF de la variable nivel graficada.

### 5. Histórico de alarmas y eventos

La siguiente opción en nuestra pantalla principal es la de “Histórico de alarmas y eventos”, para acceder a ella debemos de hacer clic en el botón con el mismo nombre ubicado en la parte inferior de la pantalla principal del HMI.

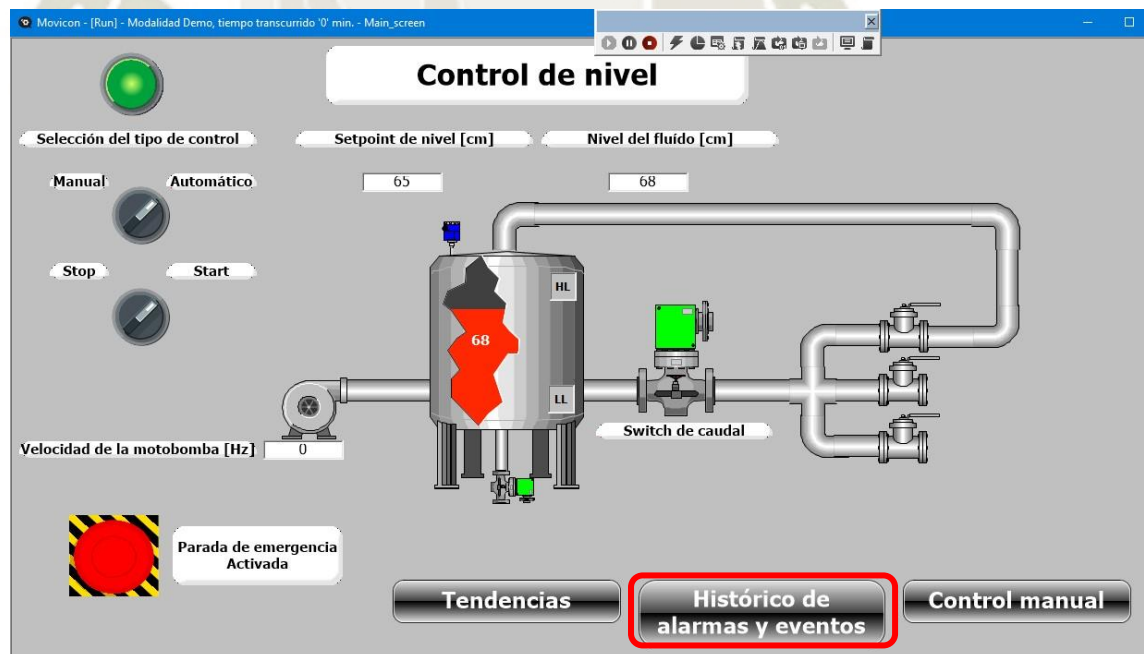


Ilustración 20: Ingreso a la pantalla Histórico de alarmas y eventos

Una vez en la pantalla histórica de alarmas y eventos, podremos ver todas las alarmas activas y desactivadas, resetear una o todas las alarmas, agregar o quitar un indicador sonoro al activarse una alarma como se aprecia en la ilustración 21.

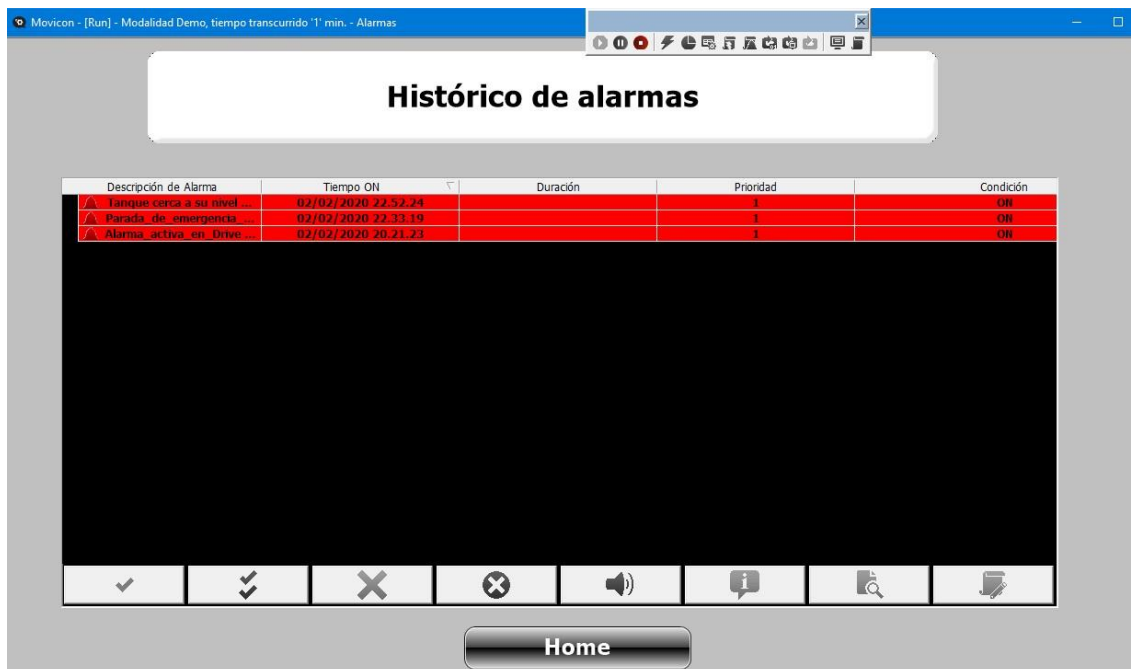


Ilustración 21: Pantalla con alarmas activas

Además, están disponibles las opciones de ayuda para cada alarma y la opción de desplegar el registro de activación y desactivación de cada una de ellas con sus respectivas horas.

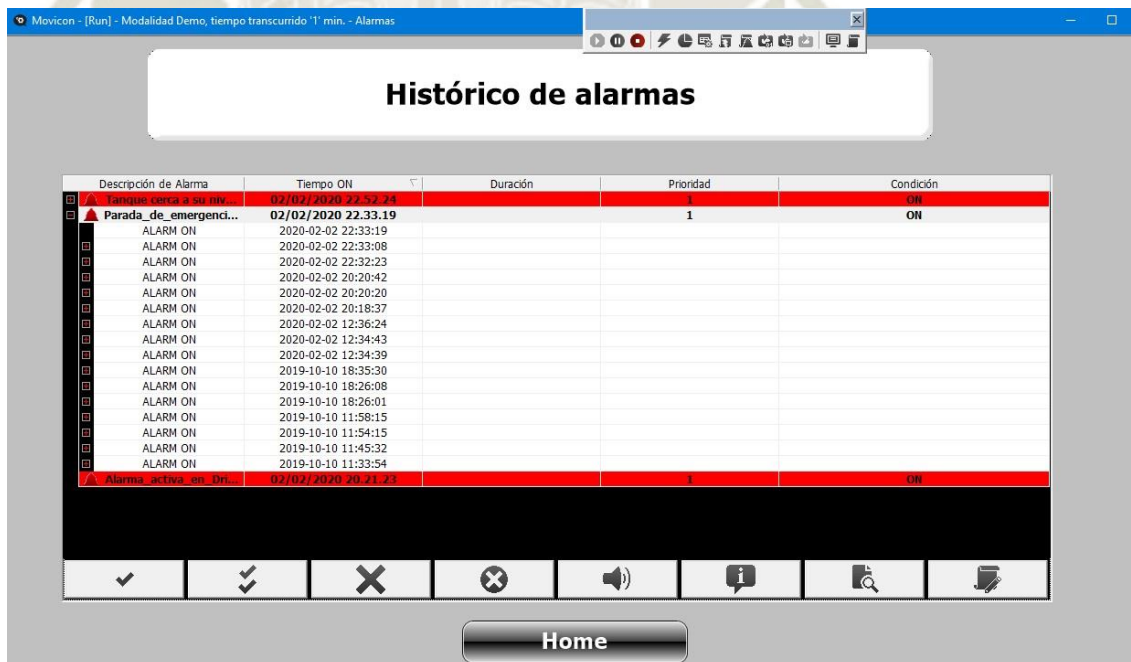



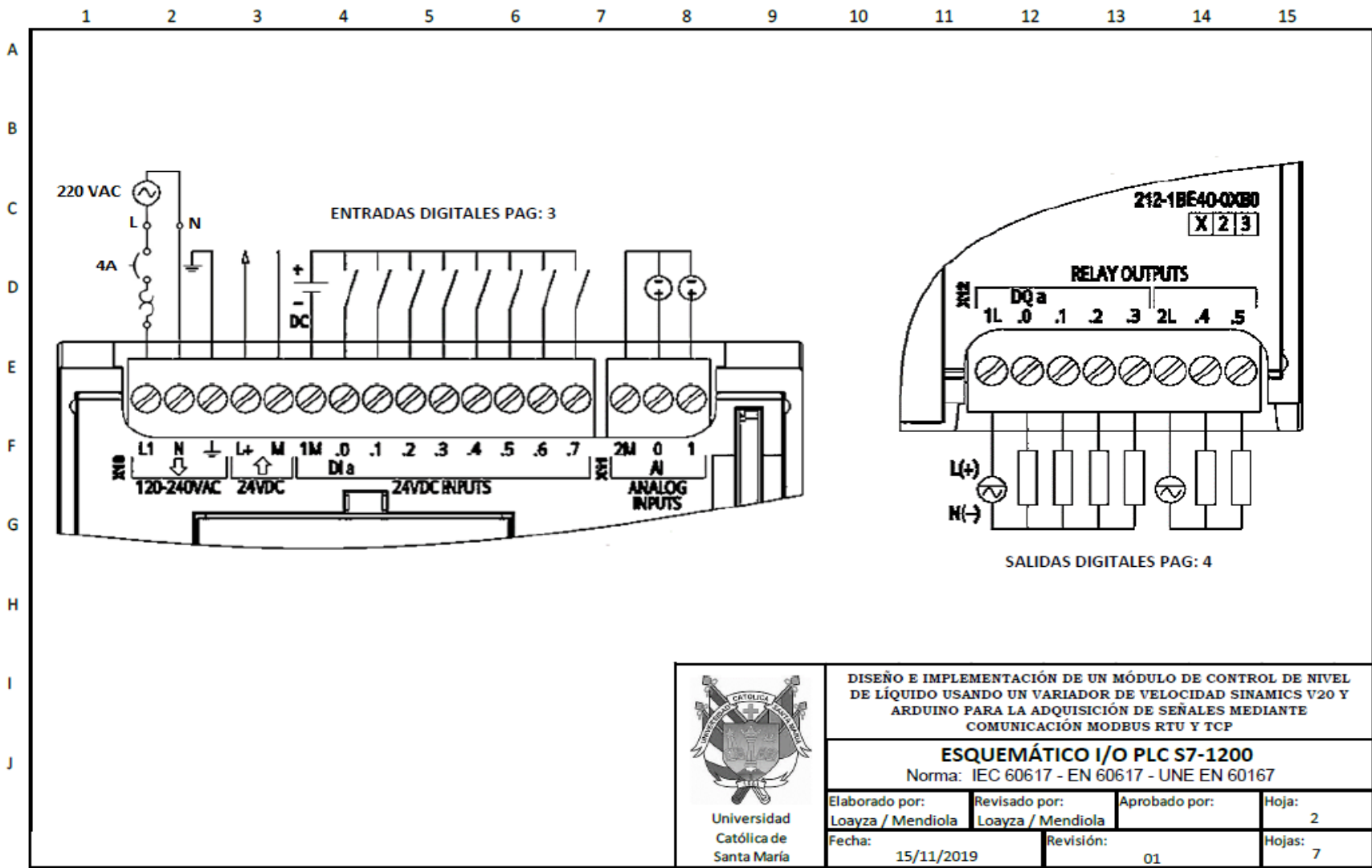
Ilustración 22: Opción de desplegar el log de fallas.



**ANEXO 2**  
**PLANOS ELECTRICOS**



	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
A	<p><b>ESQUEMÁTICO DE TESIS</b></p> <p><b>DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN MÓDULO DE CONTROL DE NIVEL DE LÍQUIDO USANDO UN VARIADOR DE VELOCIDAD SINAMICS V20 Y ARDUINO PARA LA ADQUISICIÓN DE SEÑALES MEDIANTE COMUNICACIÓN MODBUS RTU Y TCP</b></p>														
B															
C															
D															
E															
F															
G															
H															
I															
J															
	 <p>Universidad Católica de Santa María</p>				<p>DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN MÓDULO DE CONTROL DE NIVEL DE LÍQUIDO USANDO UN VARIADOR DE VELOCIDAD SINAMICS V20 Y ARDUINO PARA LA ADQUISICIÓN DE SEÑALES MEDIANTE COMUNICACIÓN MODBUS RTU Y TCP</p>										
<b>CARÁTULA</b>															
Elaborado por:					Revisado por:			Aprobado por:			Hoja:				
Loayza / Mendiola					Loayza / Mendiola						1				
Fecha:				Revisión:				Hojas:							
15/11/2019				01				7							

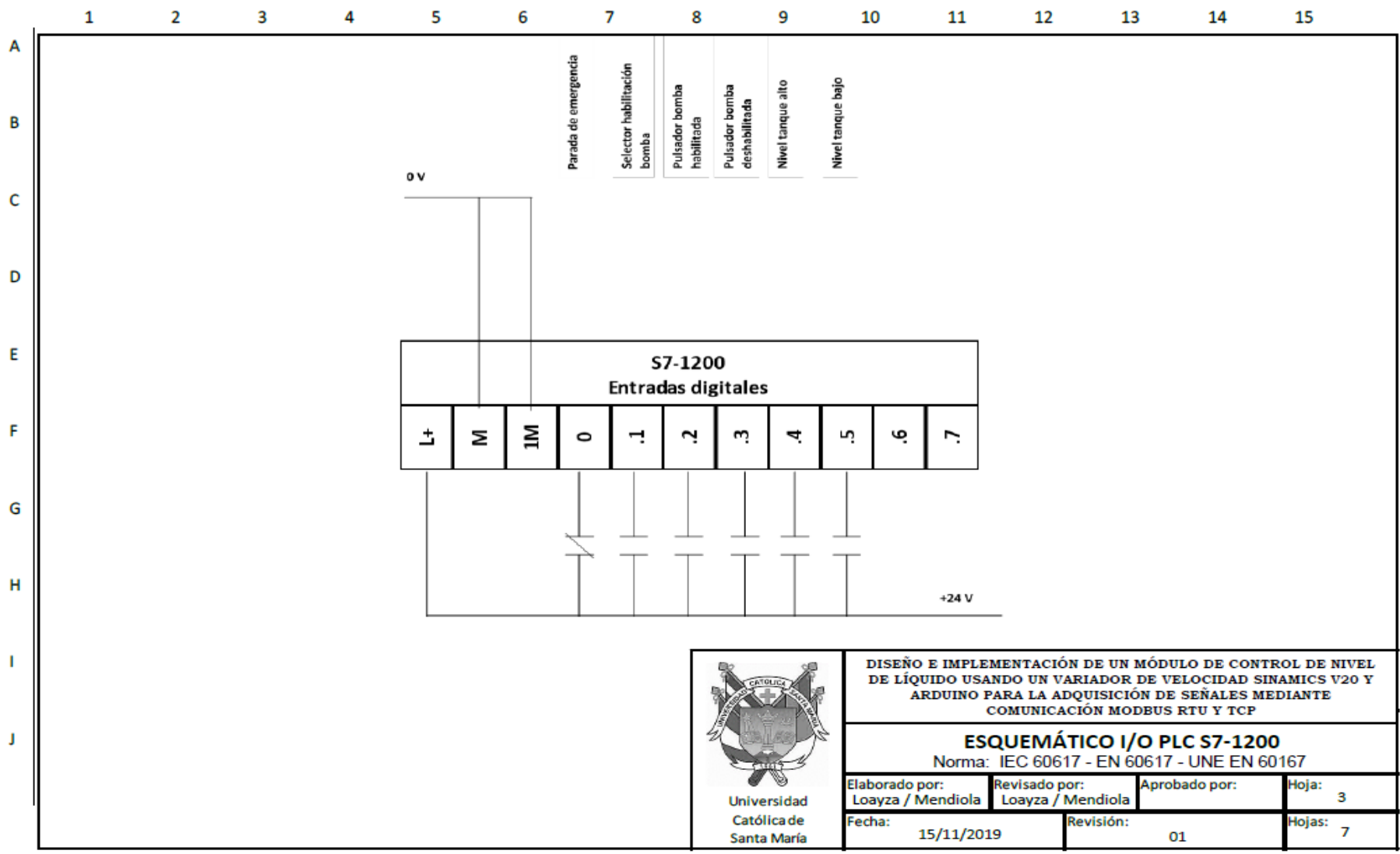


DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN MÓDULO DE CONTROL DE NIVEL DE LÍQUIDO USANDO UN VARIADOR DE VELOCIDAD SINAMICS V20 Y ARDUINO PARA LA ADQUISICIÓN DE SEÑALES MEDIANTE COMUNICACIÓN MODBUS RTU Y TCP

**ESQUEMÁTICO I/O PLC S7-1200**

Norma: IEC 60617 - EN 60617 - UNE EN 60167

Elaborado por: Loayza / Mendiola	Revisado por: Loayza / Mendiola	Aprobado por:	Hoja: 2
Fecha: 15/11/2019	Revisión: 01		Hojas: 7

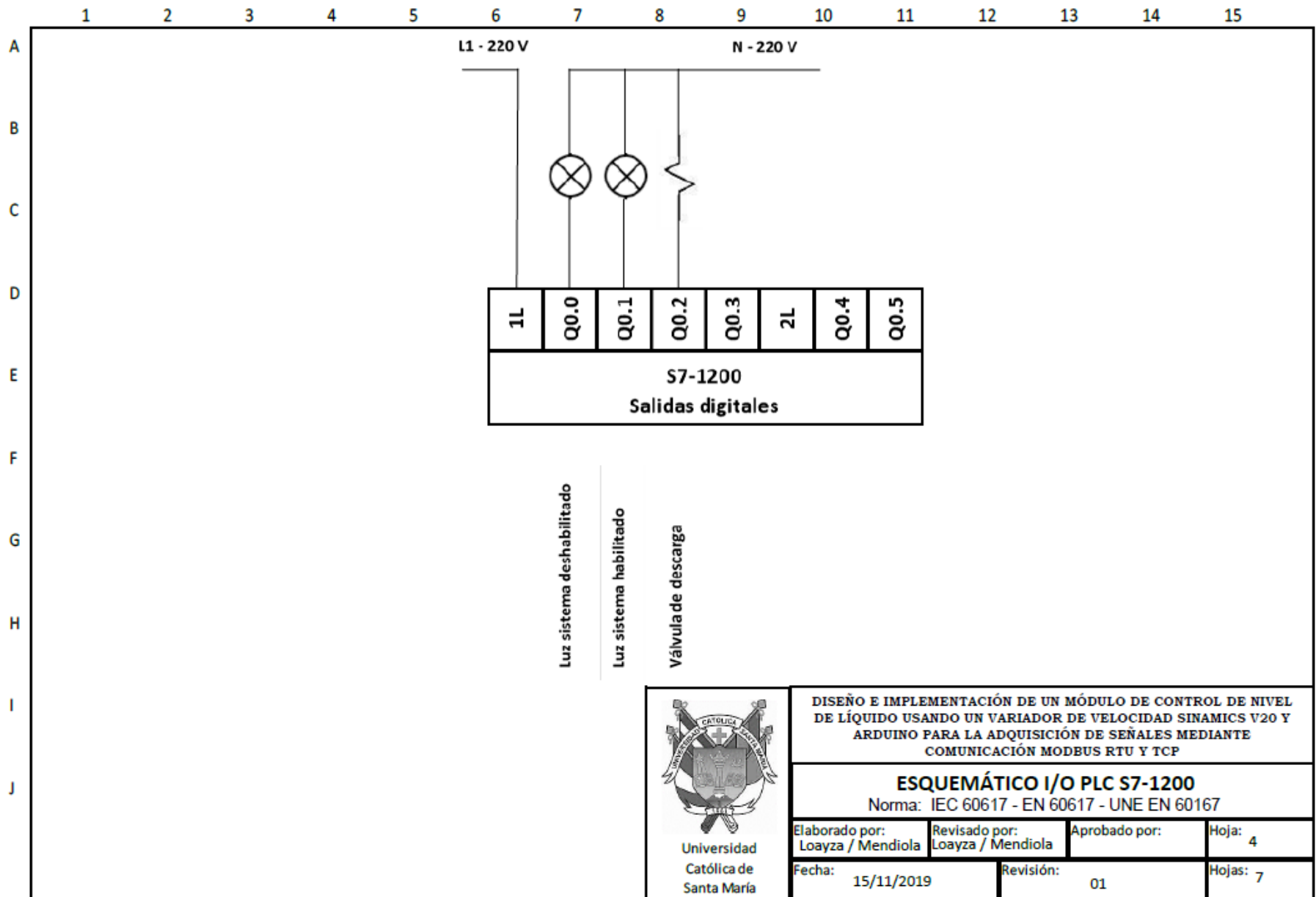


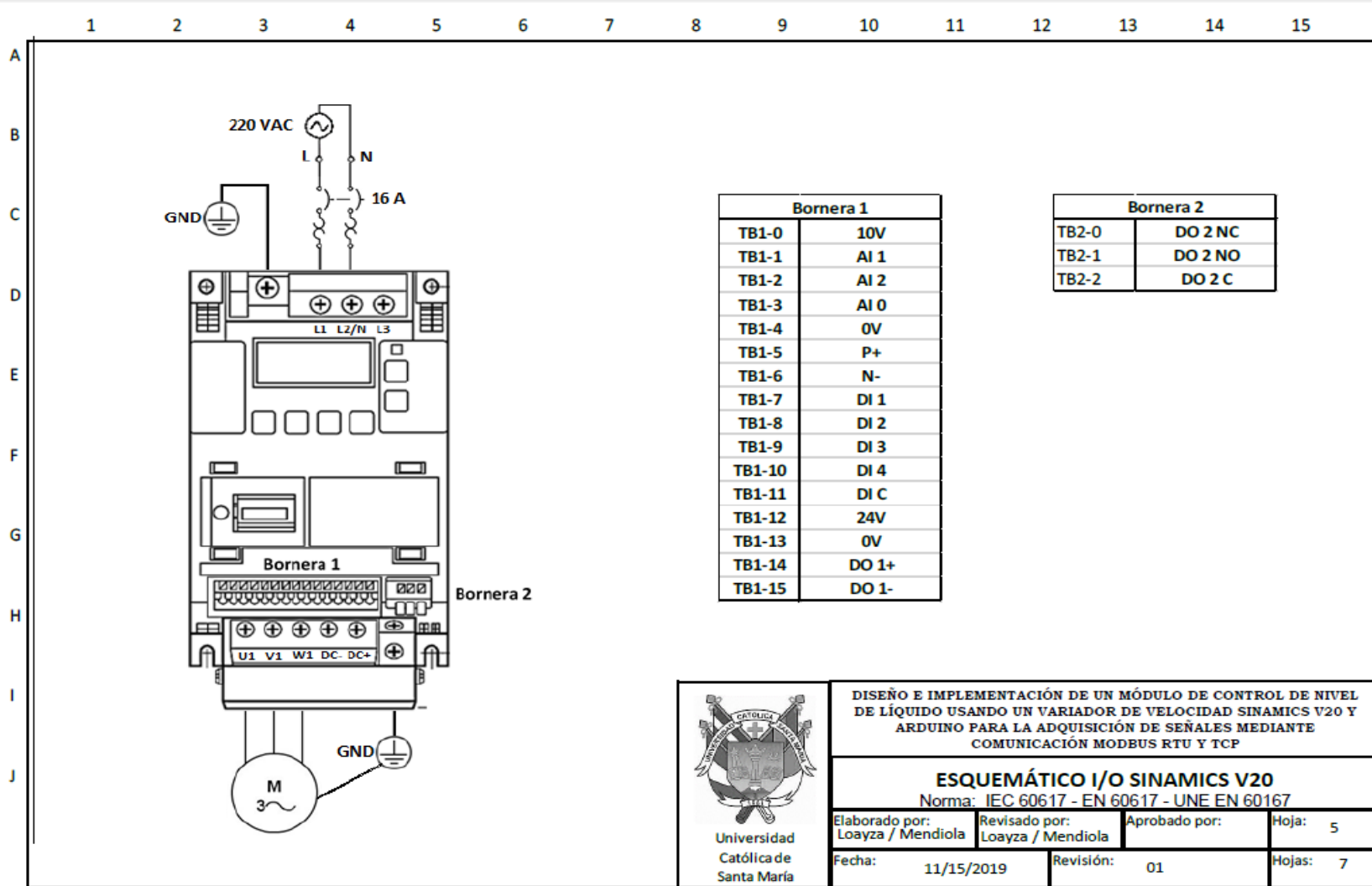
DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN MÓDULO DE CONTROL DE NIVEL DE LÍQUIDO USANDO UN VARIADOR DE VELOCIDAD SINAMICS V20 Y ARDUINO PARA LA ADQUISICIÓN DE SEÑALES MEDIANTE COMUNICACIÓN MODBUS RTU Y TCP

**ESQUEMÁTICO I/O PLC S7-1200**  
 Norma: IEC 60617 - EN 60617 - UNE EN 60167

Elaborado por: Loayza / Mendiola	Revisado por: Loayza / Mendiola	Aprobado por:	Hoja: 3
Fecha: 15/11/2019	Revisión: 01	Hojas: 7	



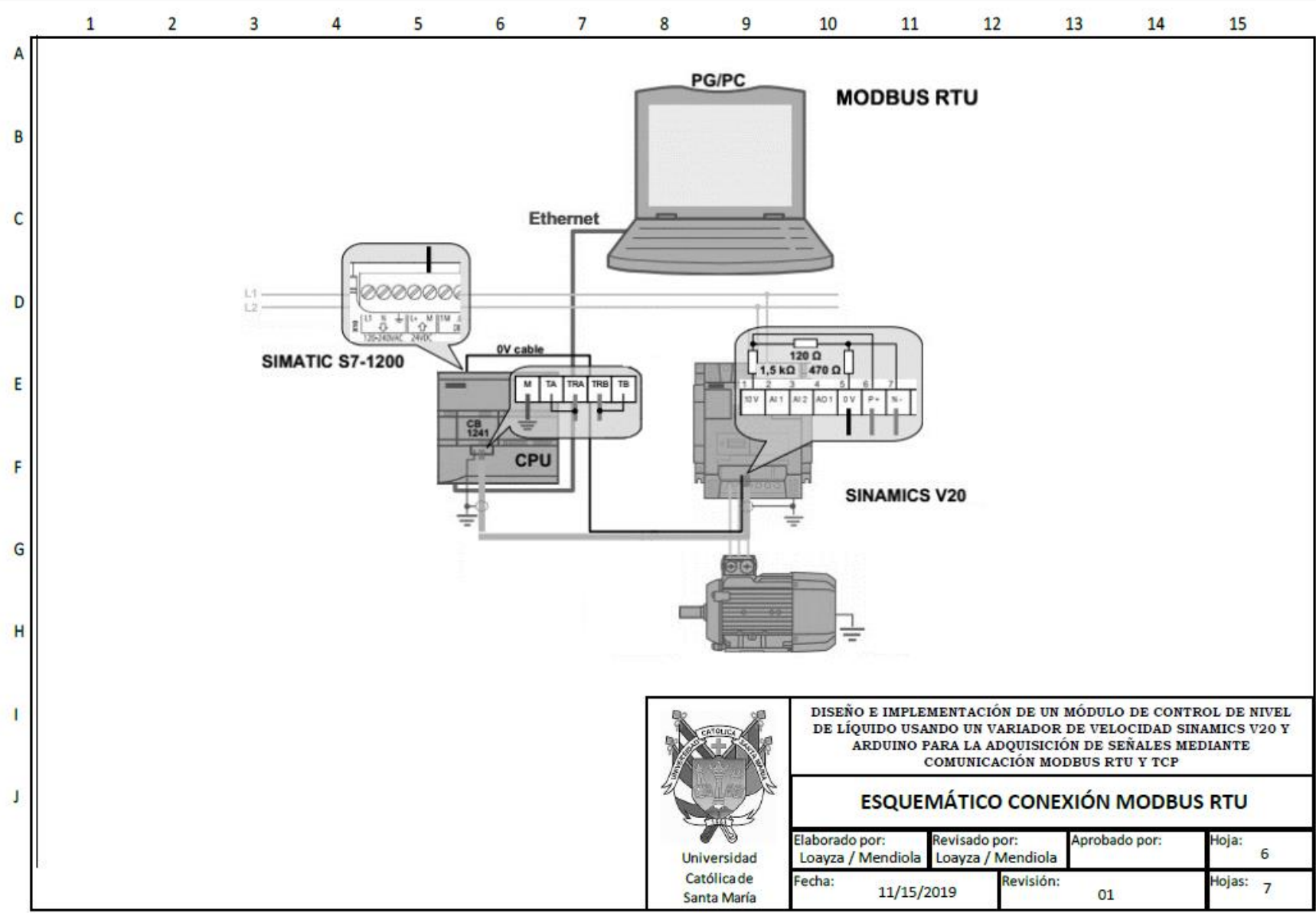




DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN MÓDULO DE CONTROL DE NIVEL DE LÍQUIDO USANDO UN VARIADOR DE VELOCIDAD SINAMICS V20 Y ARDUINO PARA LA ADQUISICIÓN DE SEÑALES MEDIANTE COMUNICACIÓN MODBUS RTU Y TCP

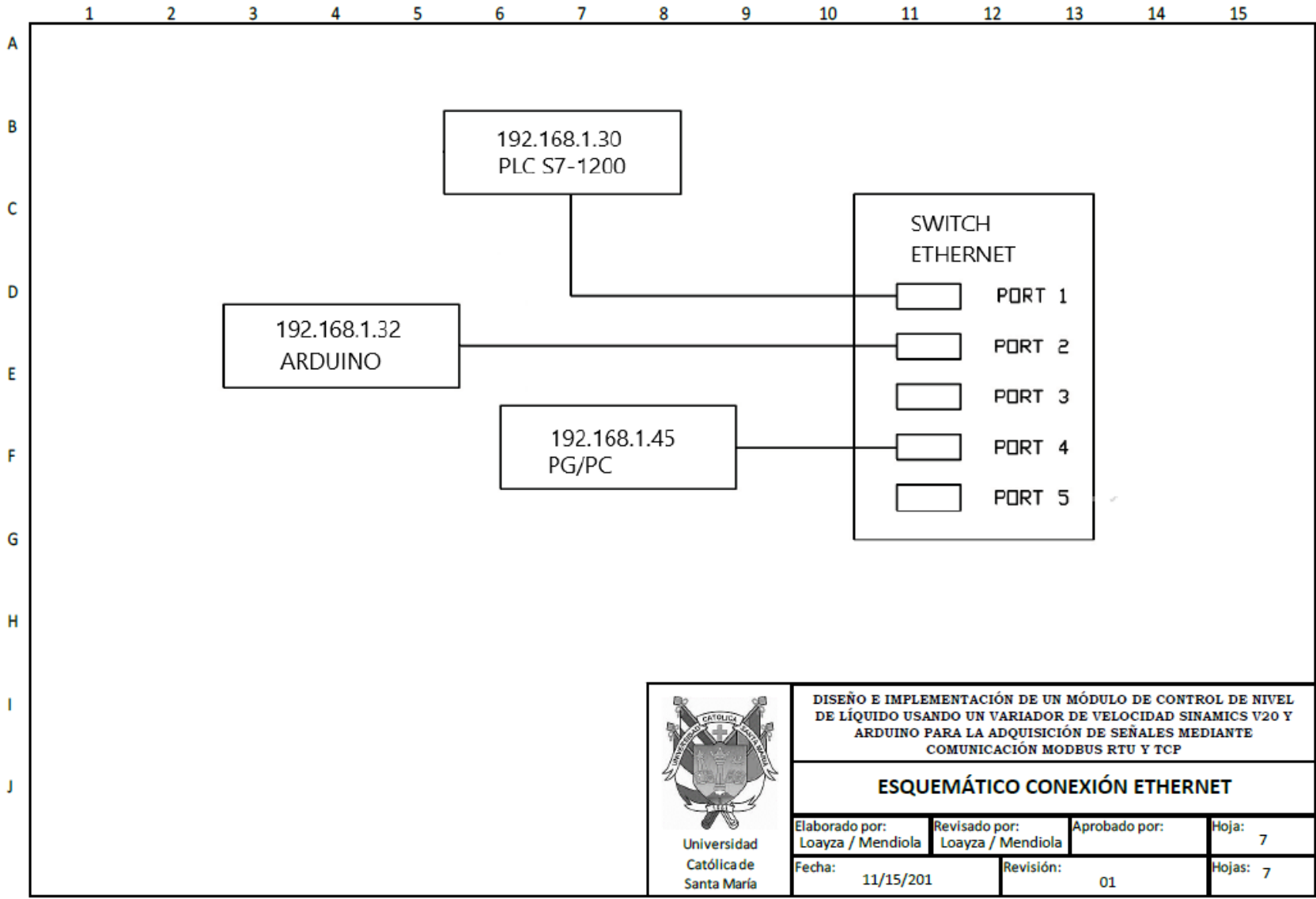
**ESQUEMÁTICO I/O SINAMICS V20**  
 Norma: IEC 60617 - EN 60617 - UNE EN 60167

Elaborado por: Loayza / Mendiola	Revisado por: Loayza / Mendiola	Aprobado por:	Hoja: 5
Fecha: 11/15/2019	Revisión: 01	Hojas: 7	



 Universidad Católica de Santa María	DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN MÓDULO DE CONTROL DE NIVEL DE LÍQUIDO USANDO UN VARIADOR DE VELOCIDAD SINAMICS V20 Y ARDUINO PARA LA ADQUISICIÓN DE SEÑALES MEDIANTE COMUNICACIÓN MODBUS RTU Y TCP			
	<b>ESQUEMÁTICO CONEXIÓN MODBUS RTU</b>			
	Elaborado por: Loayza / Mendiola	Revisado por: Loayza / Mendiola	Aprobado por:	Hoja: 6
Fecha: 11/15/2019	Revisión: 01	Hojas: 7		

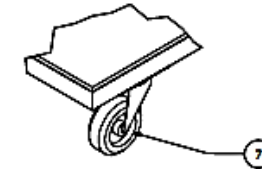
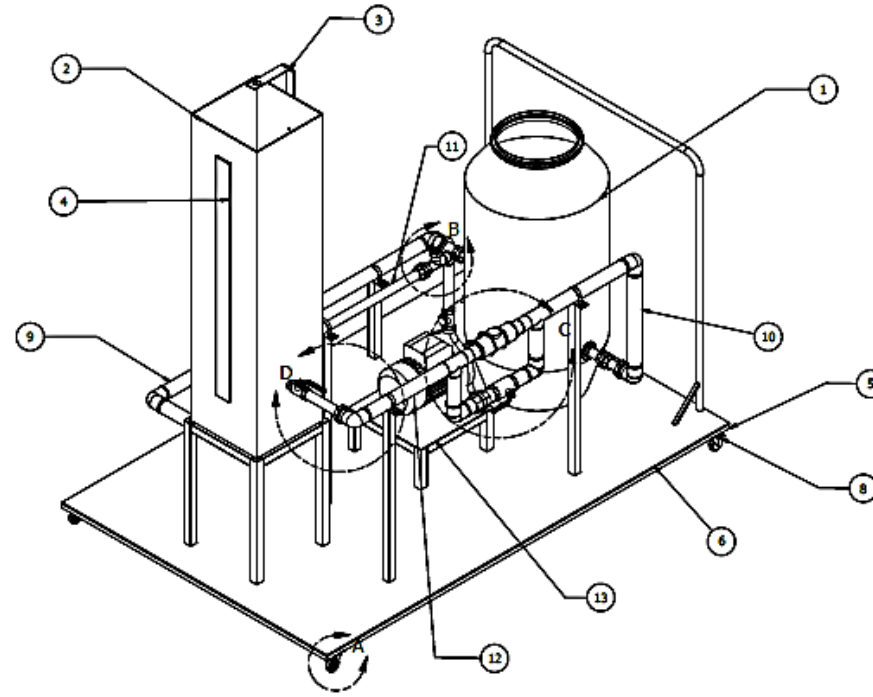




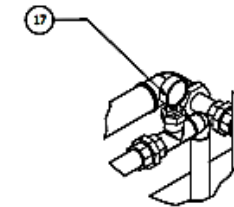


**ANEXO 3**

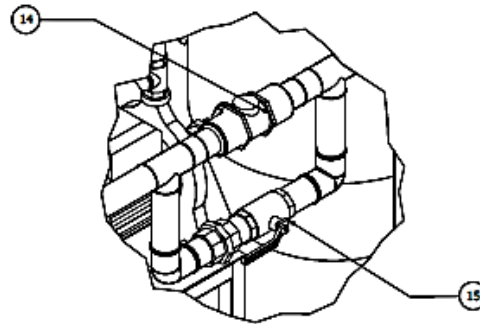
**PLANOS MECANICOS**



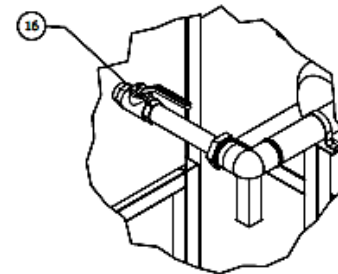
DETALLE A  
ESCALA 1 : 2



DETALLE B  
ESCALA 1 : 5



DETALLE C  
ESCALA 1 : 5



DETALLE D  
ESCALA 1 : 5

017	Manómetro	1 und		
016	Válvula de bola de 1"	1 und	Bronce	
015	Válvula de Bola de 1 1/2"	1 und	Bronce	
014	Sensor de Caudal	1 und		
013	Base Electrobomba	1 und		Referencia Plano 10
012	Electrobomba	1 und		1 HP
011	Tubería llenado de Tanque	1 und	Galvanizado	Referencia Plano 09
010	Tubería principal de descarga	1 und	Galvanizado	Referencia Plano 08
009	Tubería de purga	1 und	Galvanizado	Referencia Plano 07
008	Gamucha con freno	2 und		Referencia Plano 05
007	Gamucha sin freno	2 und		Referencia Plano 05
006	Estructura Soporte Tubería	1 und	Acero Dulce	Referencia Plano 06
005	Estructura Flaneta	1 und	Acero Dulce	Referencia Plano 05
004	Visor de Tanque de Descarga	1 und	Acero Dulce	Referencia Plano 04
003	Soporte de sensor	1 und	Vidrio	Referencia Plano 03
002	Tanque de Descarga	1 und	Acero Dulce	Referencia Plano 02
001	Tanque de Succión	1 und		

ITEM	Denominación	Cantidad	Material	Observaciones
Elaboró:		Nombre	Fecha	
Revisó:		Mendiola / Loayza	10/01/2020	
Escala:		1 : 10		

MÓDULO DE CONTROL DE NIVEL

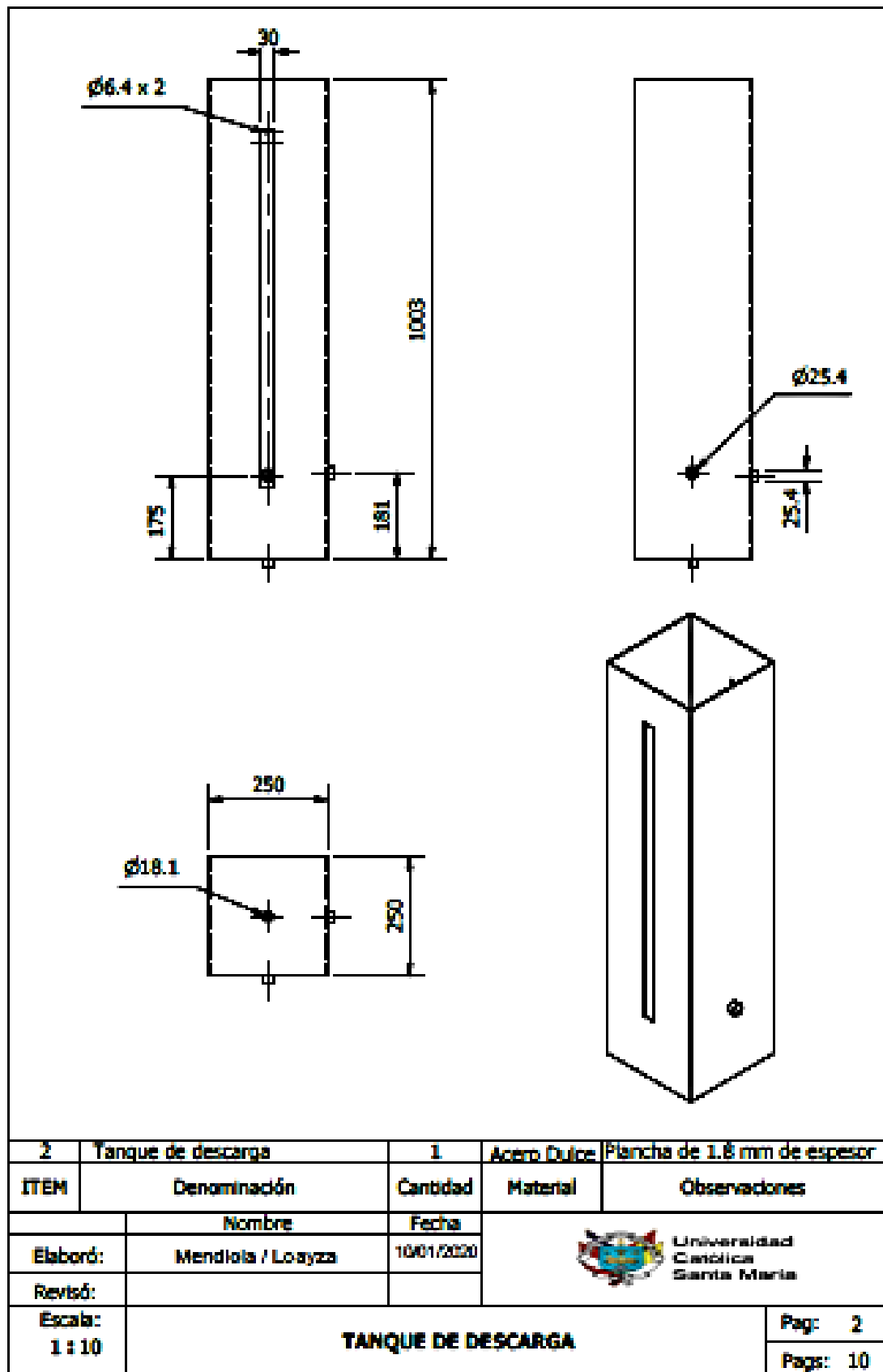


Universidad  
Católica  
Santa María

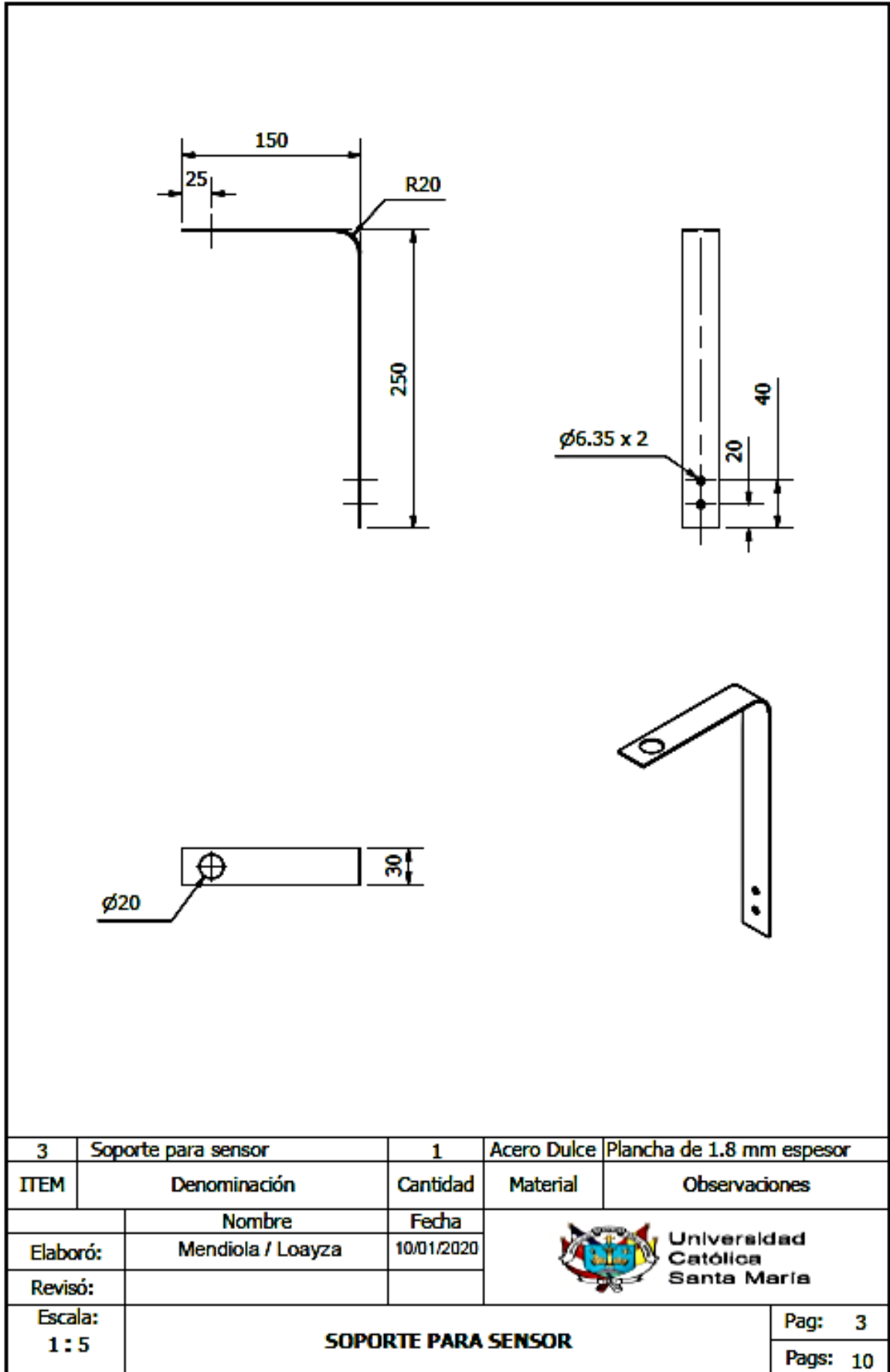
Pag: 1

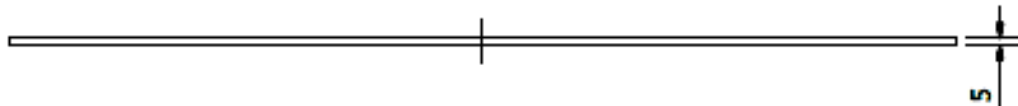
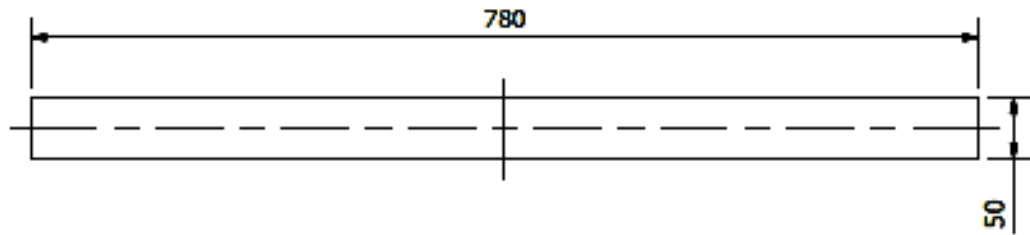
Pag: 10

Activar window  
ve a Config

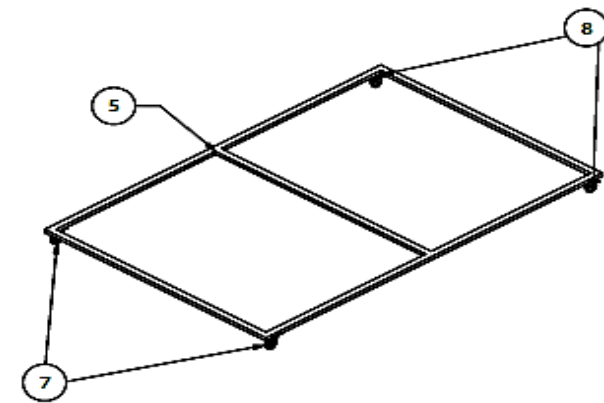
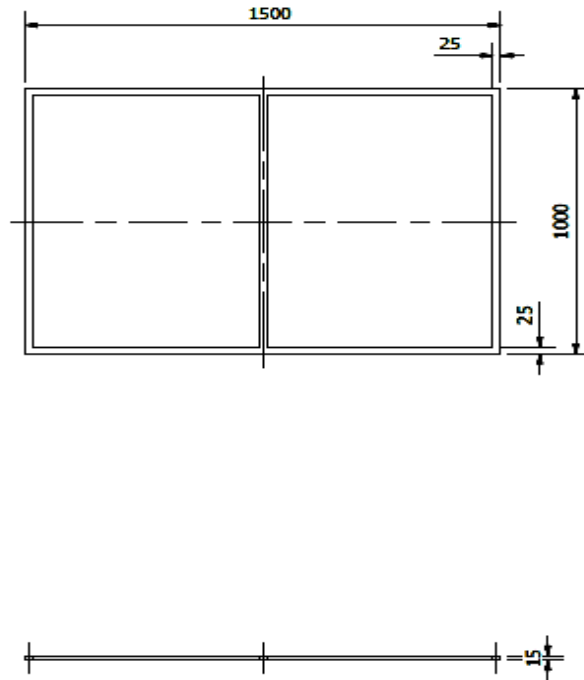




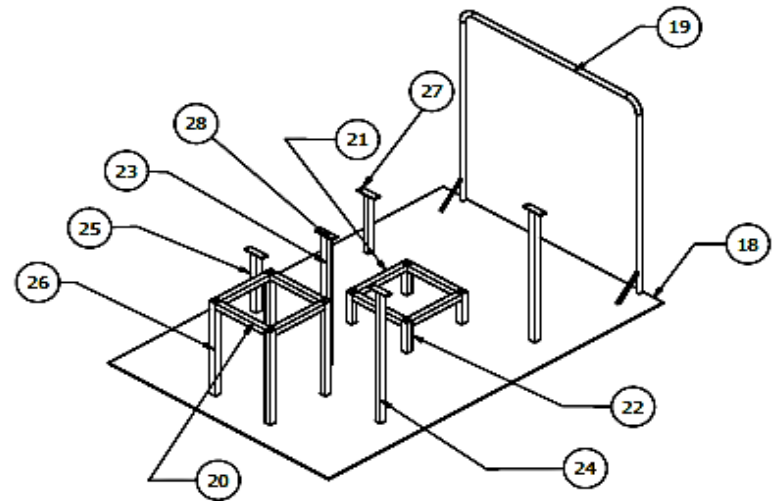
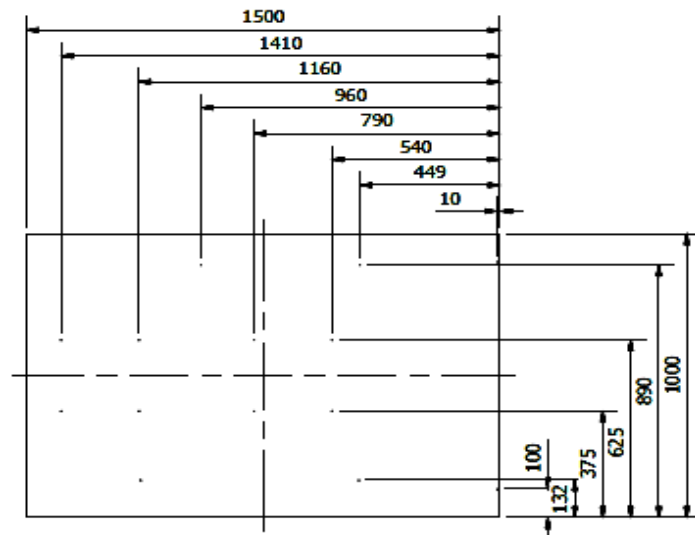




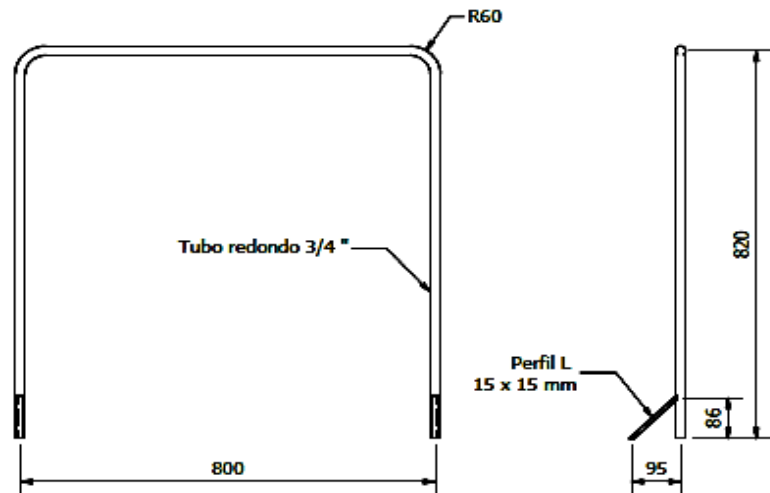
4	Visor de tanque de descarga	1	Vidrio	Espesor de 5 mm
ITEM	Denominación	Cantidad	Material	Observaciones
	Nombre	Fecha	 Universidad Católica Santa María	
Elaboró:	Mendiola / Loayza	10/01/2020		
Revisó:				
Escala: 1 : 5	<b>VISOR TANQUE DE DESCARGA</b>			Pag: 4 Pags: 10



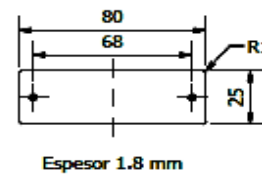
8	Garrucha con freno	2		
7	Garrucha sin freno	2		
5	Estructura base	1	Acero Dulce	Tubo rectangular 25 x 15 mm
ITEM	Denominación	Cantidad	Material	Observaciones
Elaboró:	Nombre Mendiola / Loayza	Fecha 10/01/2020	 Universidad Católica Santa María	
Revisó:				
Escala: 1 : 10	<b>ESTRUCTURA PLANTA</b>			



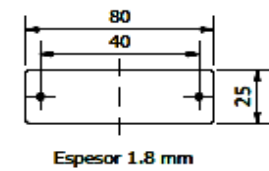
DETALLE A  
ESCALA 1:10




DETALLE B  
ESCALA 1:2



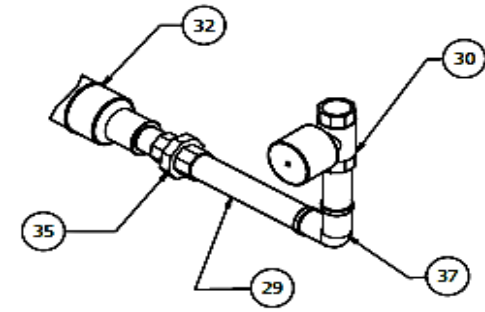
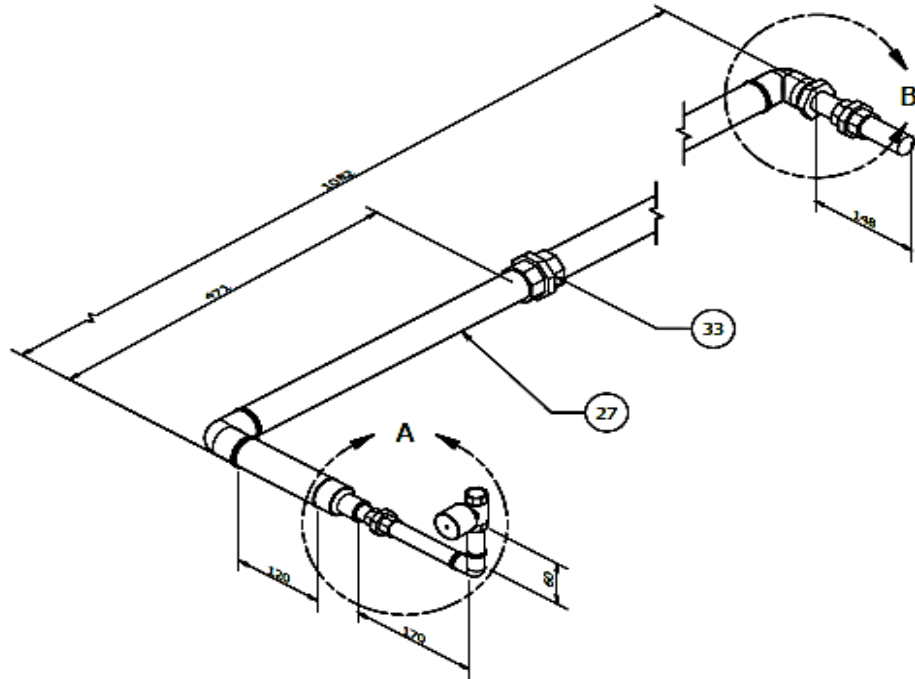
DETALLE C  
ESCALA 1:2



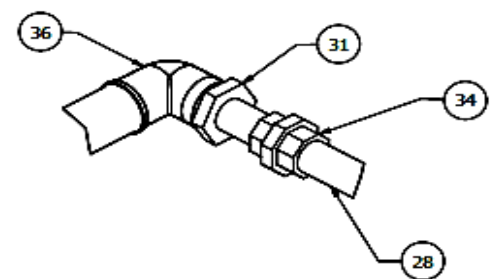
28	Platina A	1	Acero Dulce	Referencia Detalle C
27	Platina B	4	Acero Dulce	Referencia Detalle B
26	Parante A	4	Acero Dulce	Tubo Cuadrado 15x15x400 mm
25	Parante B	2	Acero Dulce	Tubo Cuadrado 15x15x250 mm
24	Parante C	2	Acero Dulce	Tubo Cuadrado 15x15x560 mm
23	Parante D	1	Acero Dulce	Tubo Cuadrado 15x15x560 mm
22	Parante E	4	Acero Dulce	Tubo Cuadrado 15x15x130 mm
21	Travesaño A	4	Acero Dulce	Tubo Cuadrado 15x15x225 mm
20	Travesaño B	4	Acero Dulce	Tubo Cuadrado 15x15x225 mm
19	Barra para empuje	1	Acero Dulce	Referencia Detalle A
18	Base	1	Acero Dulce	Plancha 1.5 mm espesor

ITEM	Denominación	Cantidad	Material	Observaciones	
Nombre		Fecha	 Universidad Católica Santa María		
Elaboró:		Mendiola / Loayza			10/01/2020
Revisó:					
Escala:		1 : 10		ESTRUCTURA SOPORTE TUBERÍA Activar Word Ve a Configurador	






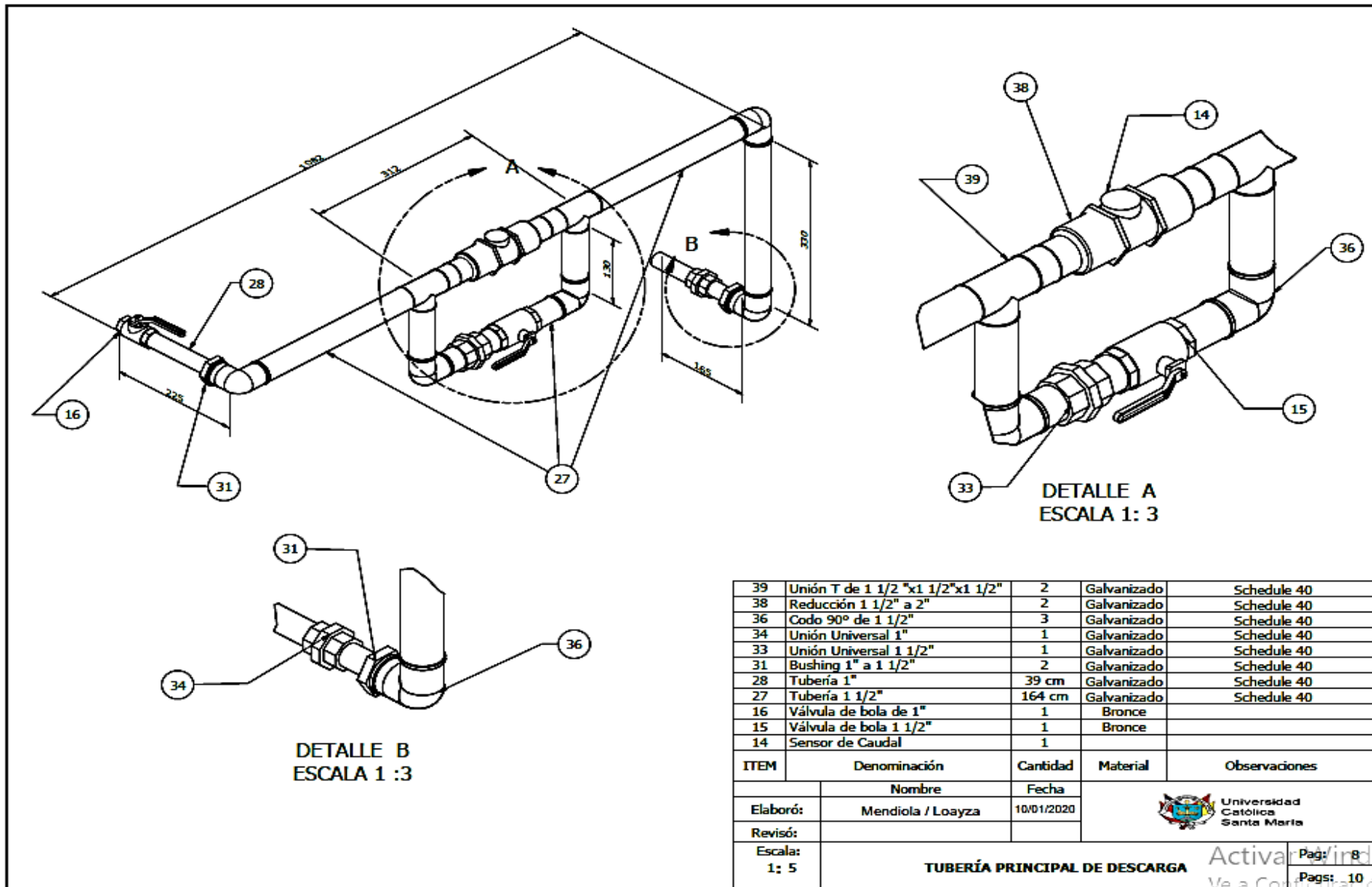
DETALLE A  
ESCALA 1:3



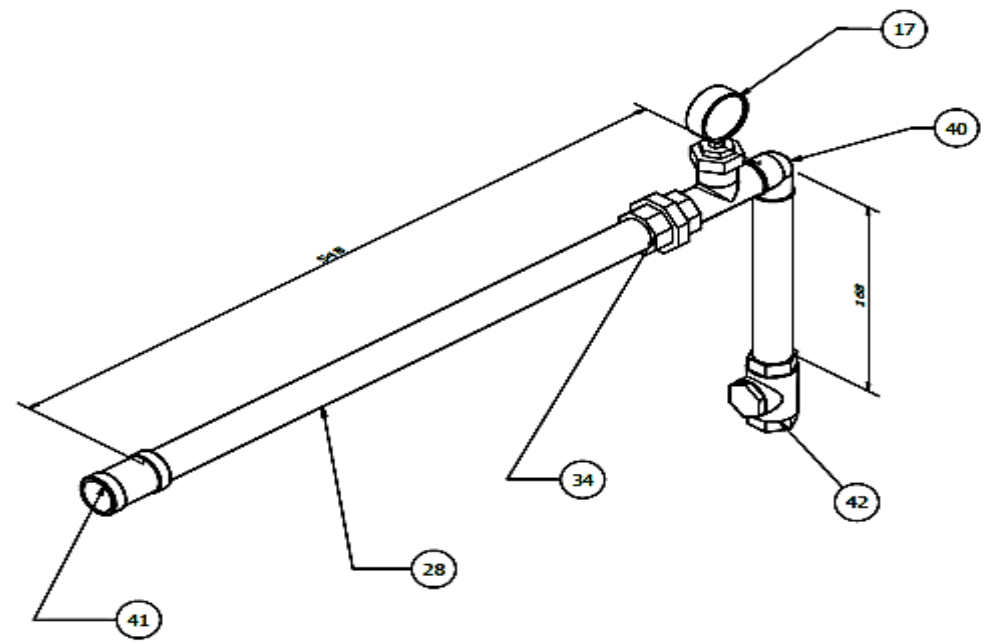
DETALLE B  
ESCALA 1:3

37	Codo 90° 3/4"	1	Galvanizado	Schedule 40
36	Codo 90° 1 1/2"	2	Galvanizado	Schedule 40
35	Unión Universal 3/4"	1	Galvanizado	Schedule 40
34	Unión Universal 1"	1	Galvanizado	Schedule 40
33	Unión Universal 1 1/2"	1	Galvanizado	Schedule 40
32	Reducción 3/4" a 1 1/2"	1	Galvanizado	Schedule 40
31	Bushing 1 1/2" a 1"	1	Galvanizado	Schedule 40
30	Válvula Selenoide 3/4"	1	Bronce	220 V
29	Tubería 3/4"	23 cm	Galvanizado	Schedule 40
28	Tubería 1"	15 cm	Galvanizado	Schedule 40
27	Tubería 1 1/2"	108 cm	Galvanizado	Schedule 40


ITEM	Denominación	Cantidad	Material	Observaciones
Elaboró:		Nombre	Fecha	 Universidad Católica Santa María
Revisó:		Mendiola / Loayza	10/01/2020	
Escala:				
1: 5		<b>TUBERÍA DE PURGA</b>		Activar Pags: 10

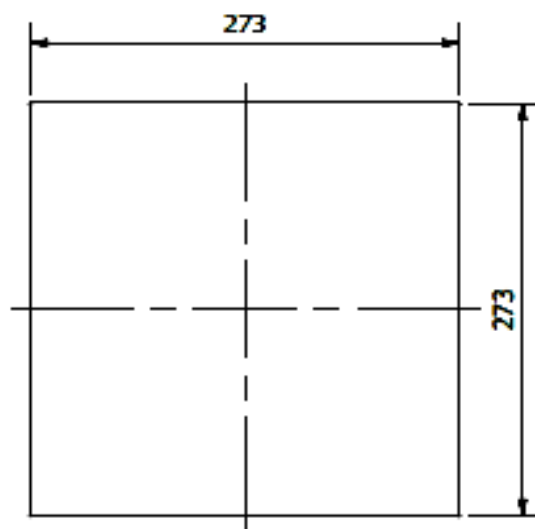
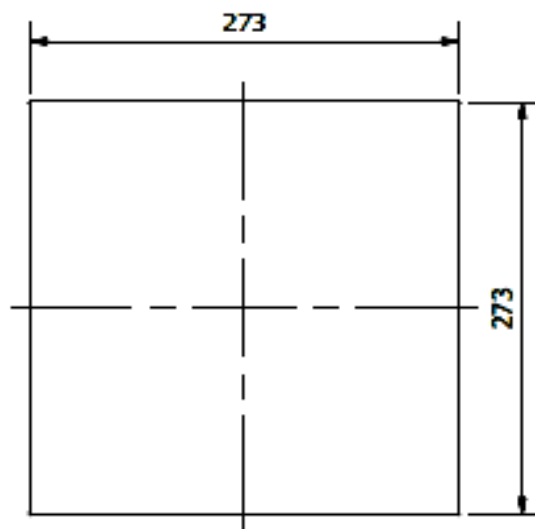


39	Unión T de 1 1/2 "x1 1/2"x1 1/2"	2	Galvanizado	Schedule 40
38	Reducción 1 1/2" a 2"	2	Galvanizado	Schedule 40
36	Codo 90° de 1 1/2"	3	Galvanizado	Schedule 40
34	Unión Universal 1"	1	Galvanizado	Schedule 40
33	Unión Universal 1 1/2"	1	Galvanizado	Schedule 40
31	Bushing 1" a 1 1/2"	2	Galvanizado	Schedule 40
28	Tubería 1"	39 cm	Galvanizado	Schedule 40
27	Tubería 1 1/2"	164 cm	Galvanizado	Schedule 40
16	Válvula de bola de 1"	1	Bronce	
15	Válvula de bola 1 1/2"	1	Bronce	
14	Sensor de Caudal	1		
ITEM	Denominación	Cantidad	Material	Observaciones
	Nombre	Fecha		
Elaboró:	Mendiola / Loayza	10/01/2020	 Universidad Católica Santa María	
Revisó:				
Escala:				
1: 5	<b>TUBERÍA PRINCIPAL DE DESCARGA</b>			Pags: 8 Pags: 10



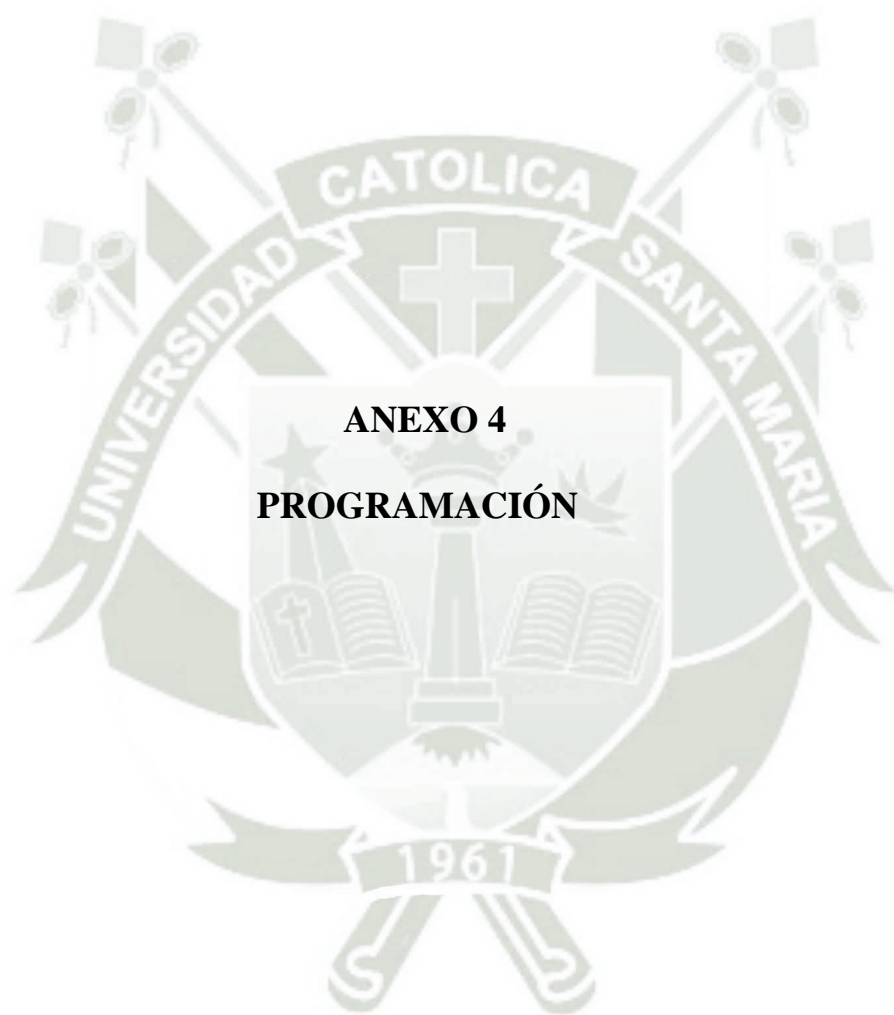
42	Válvula Check de 1"	1	Bronce	
41	Cople 1"	1	Galvanizado	Schedule 40
40	Codo 90° 1"	1	Galvanizado	Schedule 40
34	Unión Universal 1"	1	Galvanizado	Schedule 40
28	Tubería 1"	72 cm	Galvanizado	Schedule 40
17	Manómetro	1		05 Bar

ITEM	Denominación	Cantidad	Material	Observaciones
Elaboró:		Nombre	Fecha	 Universidad Católica Santa María
Revisó:		Mendiola / Loayza	10/01/2020	
Escala:				
1: 5		<b>TUBERÍA LLENADO DE TANQUE</b>		Activar Ve a Configuración



43	Base Tanque	1	Acero Dulce	Plancha de 1.8 mm de espesor
13	Base Electrobomba	1	Acero Dulce	Plancha de 1.8 mm de espesor
ITEM	Denominación	Cantidad	Material	Observaciones
	Nombre	Fecha	 Universidad Católica Santa María	
Elaboró:	Mendiola / Loayza	10/01/2020		
Revisó:				
Escala: 1 : 5	<b>BASES TANQUE Y ELECTROBOMBA</b>			Pag: 10 Pags: 10





**ANEXO 4**  
**PROGRAMACIÓN**

## Tesis Control de Nivel versión final

### Proyecto

<b>Nombre:</b>	Tesis Control de Nivel versión final	<b>Fecha y hora de creación:</b>	21/09/2018 20:37:34
<b>Última modificación:</b>	15/10/2020 3:27:14	<b>Autor:</b>	Jonathan
<b>Autor de la última modificación:</b>	jplr1	<b>Versión:</b>	
<b>Comentario:</b>			

### Sistema operativo

Nombre	Descripción
Sistema operativo	Microsoft Windows 10 Pro
Versión del sistema operativo	6.3.9600.0
Service Pack del sistema operativo	
Versión del Internet Explorer	11.508.19041.0
Nombre del equipo	PC-JONATHAN
Nombre del usuario	PC-JONATHAN\jplr1
Ruta de instalación del TIA Portal	C:\Program Files\Siemens\Automation\Portal V14

### Componentes

Nombre	Versión	Revisión
TIA Portal Multiuser Server V14 - TIA Portal Multiuser Server Single SetupPackage V14.0 SP1 (MUSERV14)	V14.0 + SP1	V14.00.01.00_12.01.00.01
SIMATIC S7-PLCSIM (S7_PLCSIM_V14)	V14.0 + SP1	V14.00.01.00_12.01.00.01
Siemens Totally Integrated Automation Portal V14 - SIMATIC S7-PLCSIM V14.0 + SP1 + Upd1 (S7_PLCSIM_V14)	V14.0 + SP1 + Upd1	V14.00.01.01_01.26.00.01
Totally Integrated Automation Portal V14 - TIA Portal Single SetupPackage V14.0 SP1 (TIAP14)	V14.0 + SP1	V14.00.01.00_12.01.00.01
Siemens Totally Integrated Automation Portal V14 - HM All Editions Single SetupPackage V14.0 + SP1 (TIAP14)	V14.0 + SP1	V14.00.01.00_12.01.00.01
Siemens Totally Integrated Automation Portal V14 - HM NoBasic Single SetupPackage V14.0 + SP1 (TIAP14)	V14.0 + SP1	V14.00.01.00_12.01.00.01
Siemens Totally Integrated Automation Portal V14 - Hardware Support Base Package 0 V14.0 (TIAP14)	V14.0	V14.00.00.00_26.01.00.01
Siemens Totally Integrated Automation Portal V14 - Multiuser Client Single SetupPackage V14.0 + SP1 (TIAP14)	V14.0 + SP1	V14.00.01.00_12.01.00.01
Siemens Totally Integrated Automation Portal V14 - STEP 7 Single SetupPackage V14.0 + SP1 (TIAP14)	V14.0 + SP1	V14.00.01.00_12.01.00.01
Siemens Totally Integrated Automation Portal V14 - Hardware Support Base Package 02 V14.0 (TIAP14)	V14.0	V14.00.00.00_26.01.00.01
Siemens Totally Integrated Automation Portal V14 - Hardware Support Base Package 03 V14.0 (TIAP14)	V14.0	V14.00.00.00_26.01.00.01
Siemens Totally Integrated Automation Portal V14 - Hardware Support Base Package 04 V14.0 + SP1 (TIAP14)	V14.0 + SP1	V14.00.01.00_04.01.00.03
Siemens Totally Integrated Automation Portal V14 - Support Base Package TO-01 V14.0 (TIAP14)	V14.0	V14.00.00.00_26.01.00.01
Siemens Totally Integrated Automation Portal V14 - Support Base Package TO-02 V14.0 (TIAP14)	V14.0	V14.00.00.00_26.01.00.01

## Tesis Control de Nivel versión final / PLC\_1 [CPU 1212C AC/DC/Rly] / Bloques de programa

### Main [OB1]

#### Main Propiedades

##### General

<b>Nombre</b>	Main	<b>Número</b>	1	<b>Tipo</b>	OB
<b>Idioma</b>	KOP	<b>Numeración</b>	Automático		

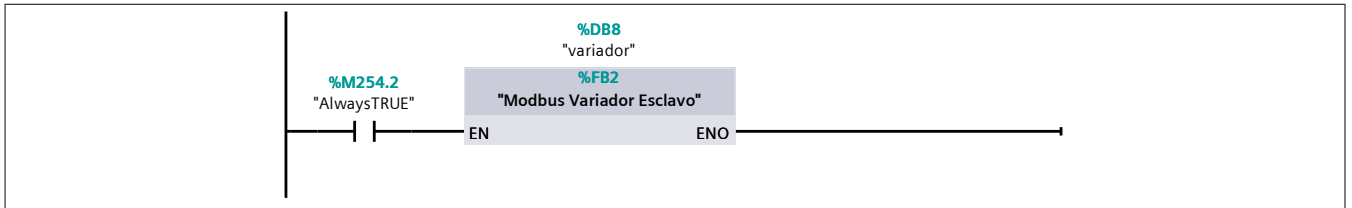
##### Información

<b>Título</b>	"Main Program Sweep (Cycle)"	<b>Autor</b>		<b>Comentario</b>	Tesis: DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN MÓDULO DE CONTROL DE NIVEL DE LÍQUIDO USANDO UN VARIADOR DE VELOCIDAD SINAMICS V20 Y ARDUINO PARA LA ADQUISICIÓN DE SEÑALES MEDIANTE COMUNICACIÓN MODBUS RTU Y TCP Integrantes: Loayza Rodríguez Jonathan y Mendiola Villanueva Gino
<b>Familia</b>		<b>Versión</b>	0.1	<b>ID personalizada</b>	

Nombre	Tipo de datos	Valor predet.
▼ Input		
Initial_Call	Bool	
Remanence	Bool	
▼ Temp		
done1	Bool	
ref_velocidad_para_varaidor	Word	
nivel_multiplicado	Word	
factor_nivel	Word	
done2	Bool	
busy1	Bool	
error1	Bool	
status1	Word	
Encendido_bba	Bool	
velocidad_manual	UInt	
factor_caudal	Int	
frec	UInt	
frec_cuadrado	UInt	
frec2	UInt	
B	UInt	
C	UInt	
nivel_tem	UInt	
nive_cuadrado	DInt	
A	Date	
nivel1	DInt	
Constant		

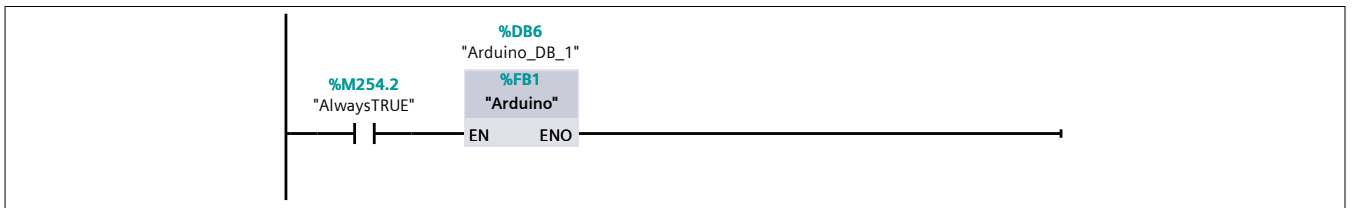
### Segmento 1:

Inicialización de programa de comunicación MODBUS RTU



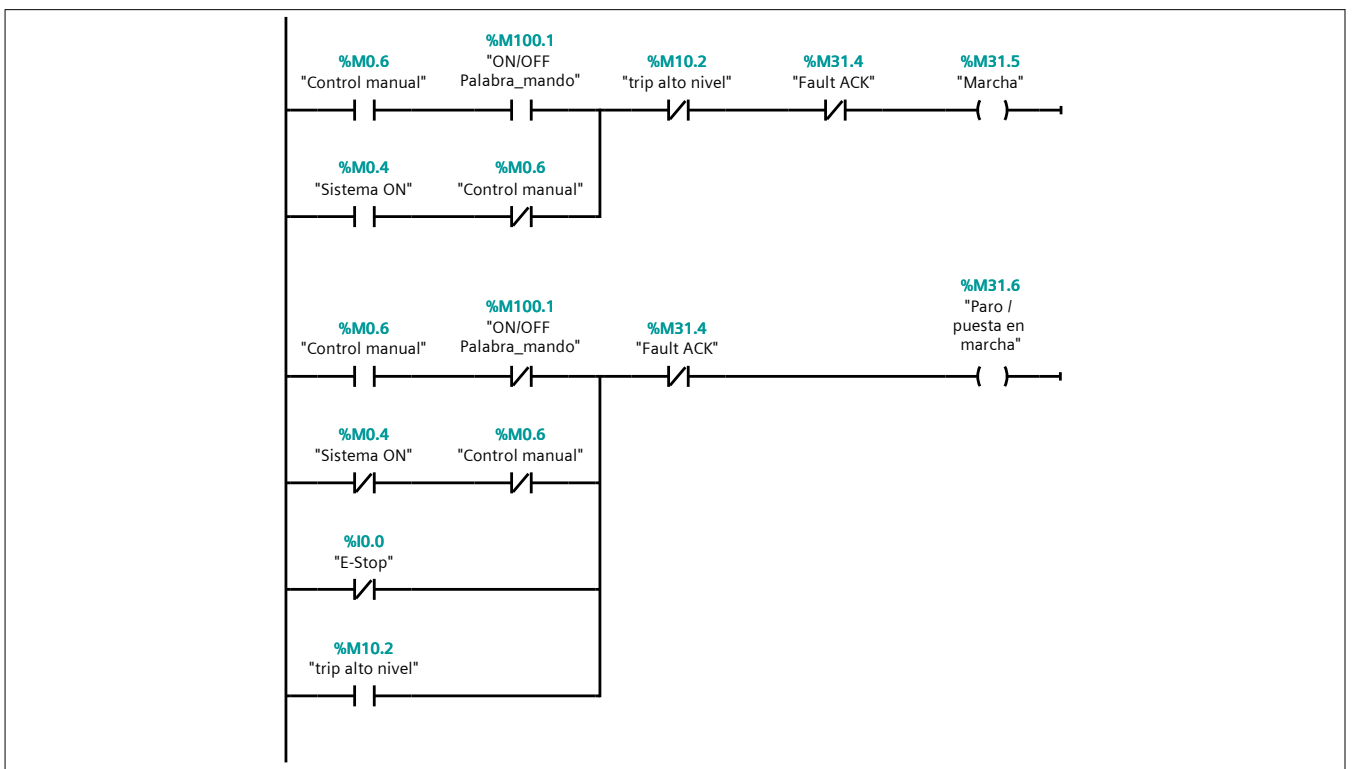
### Segmento 2:

Inicialización de Adquisición de data de Arduino via Modbus TCP



### Segmento 3:

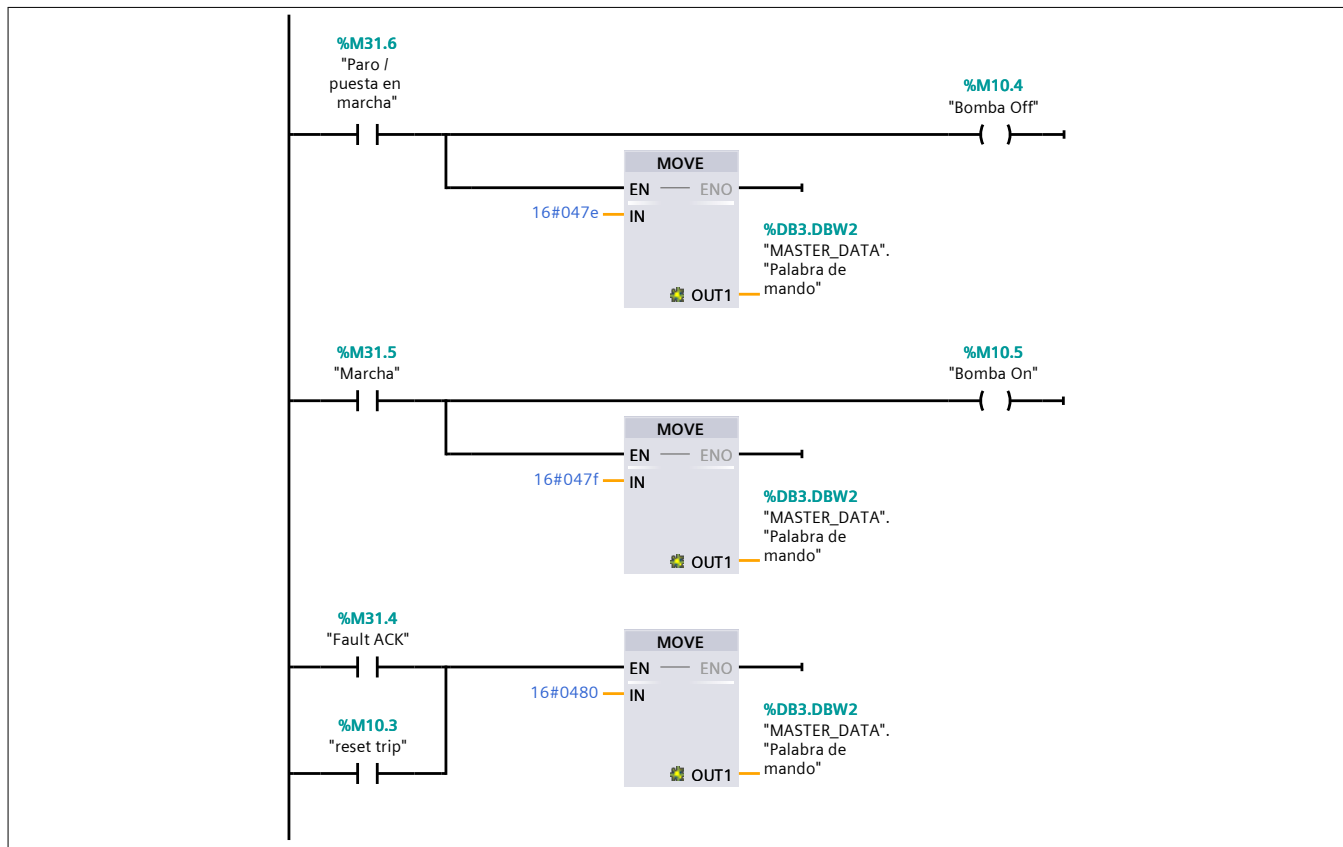
Código de arranque y paro de bomba



### Segmento 4:

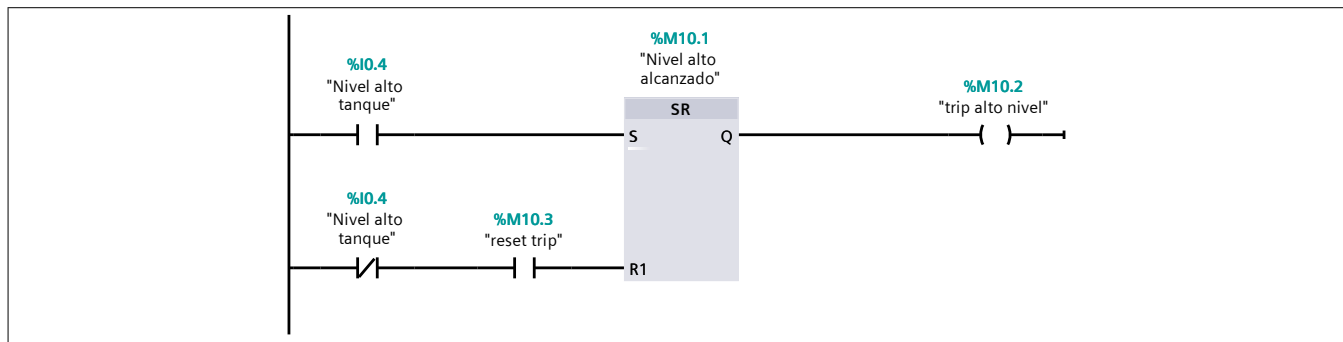
Lectura y escritura de de registros





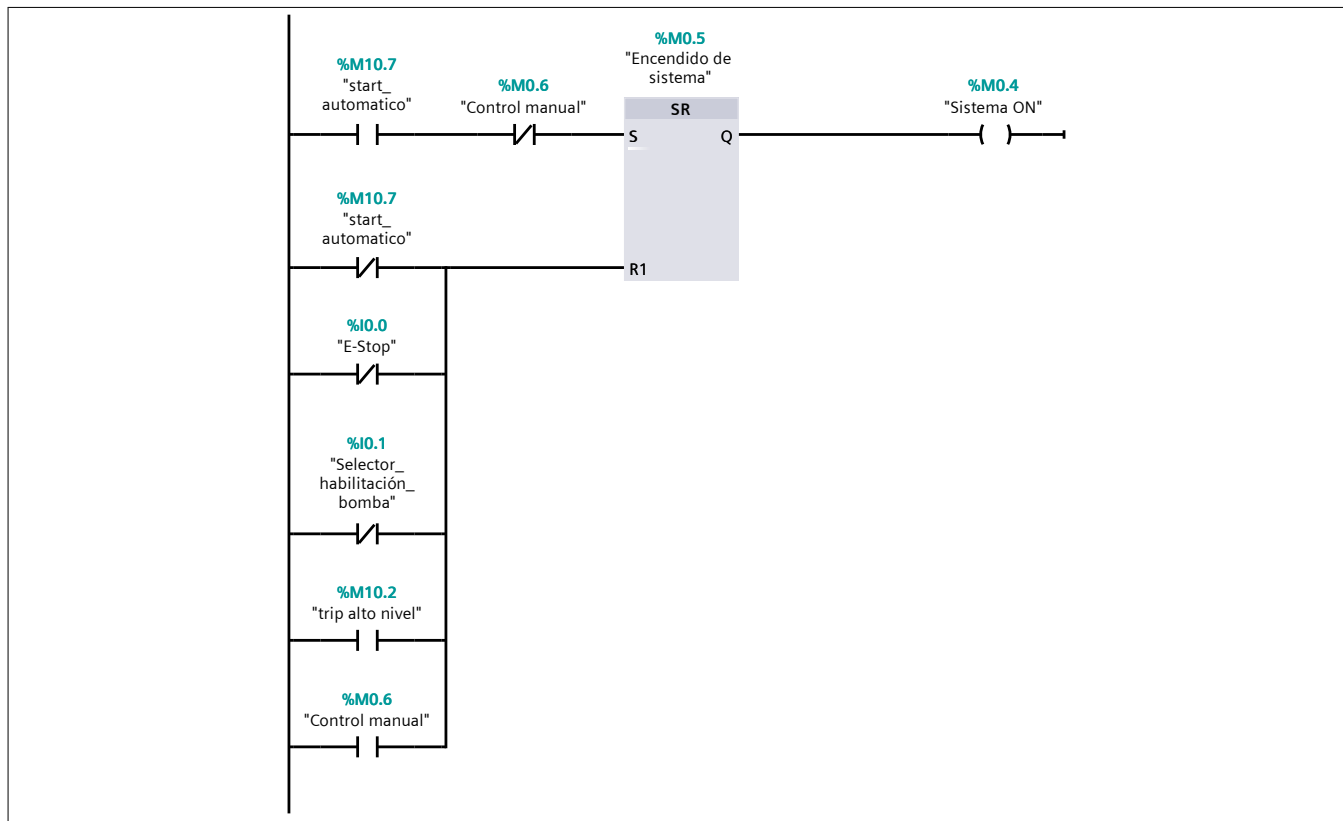
**Segmento 5:**

Falla nivel alto



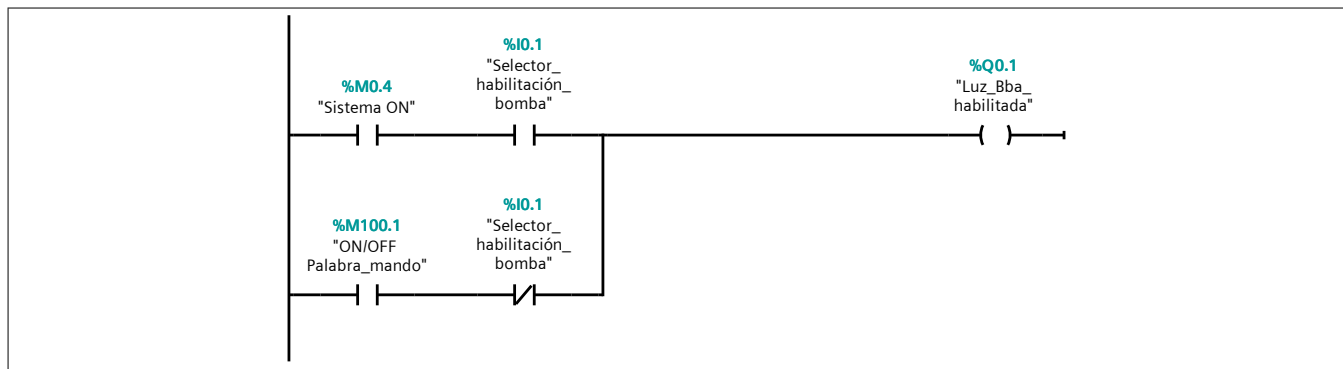
**Segmento 6: Inicialización del sistema**

Arranque modo automático



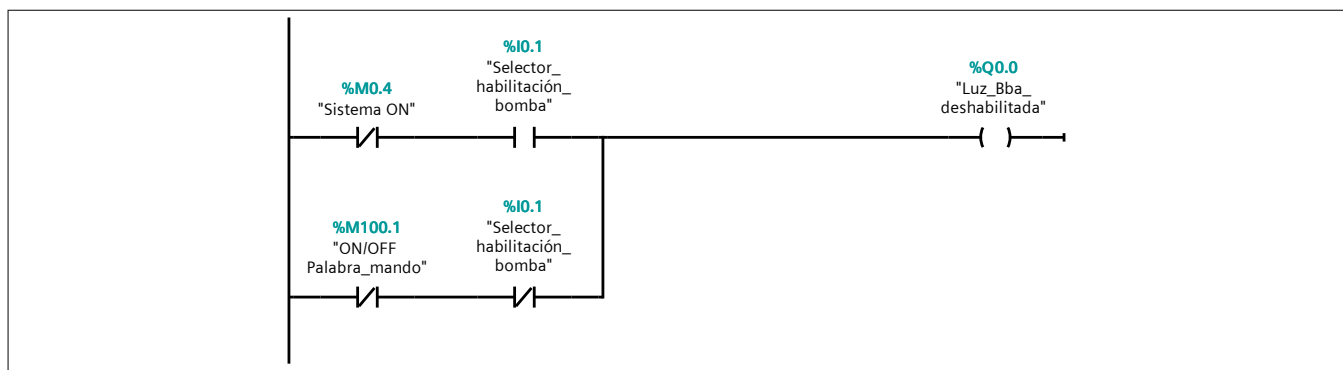
**Segmento 7:**

Luz indicadora verde



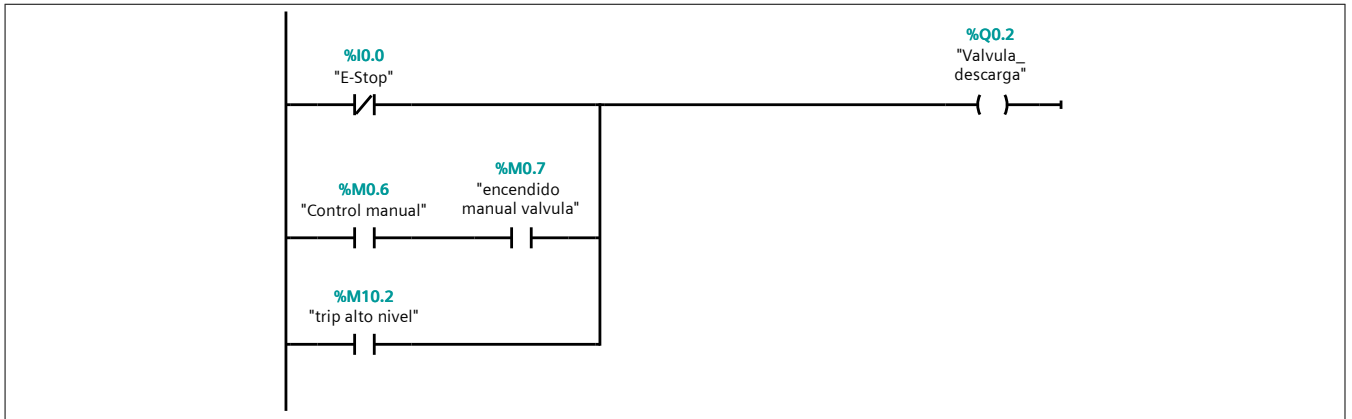
**Segmento 8:**

Luz indicadora roja



### Segmento 9:

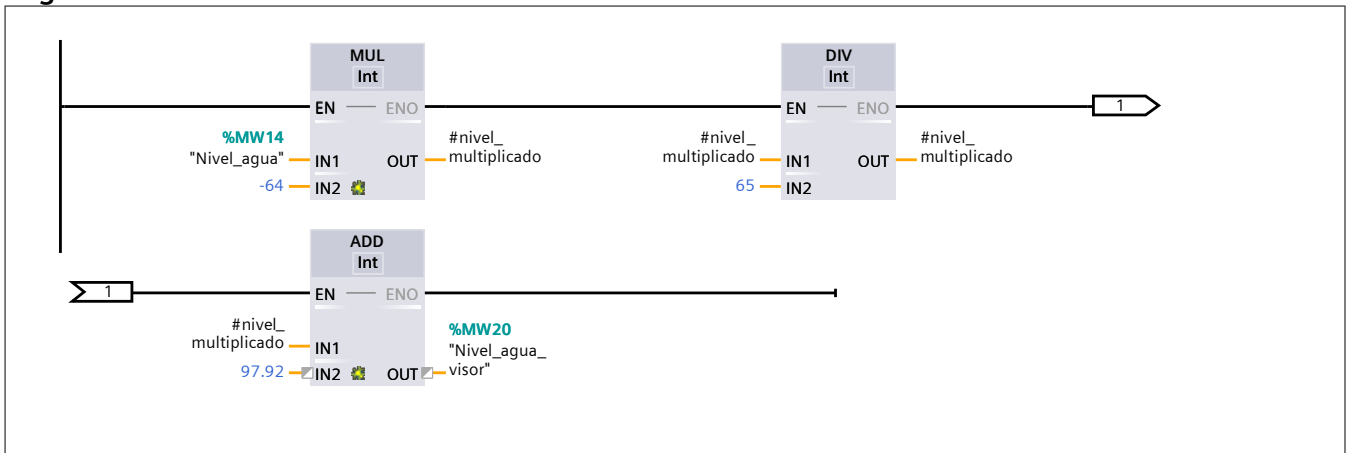
Funcionamiento de válvula de descarga



### Segmento 10:

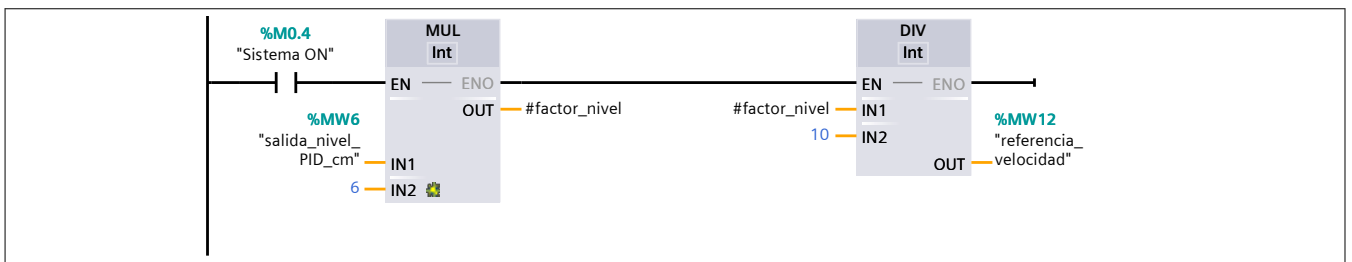
Transformación de señal de sensor de nivel ultrasónico a Nivel de líquido en tanque

### Segmento 10:



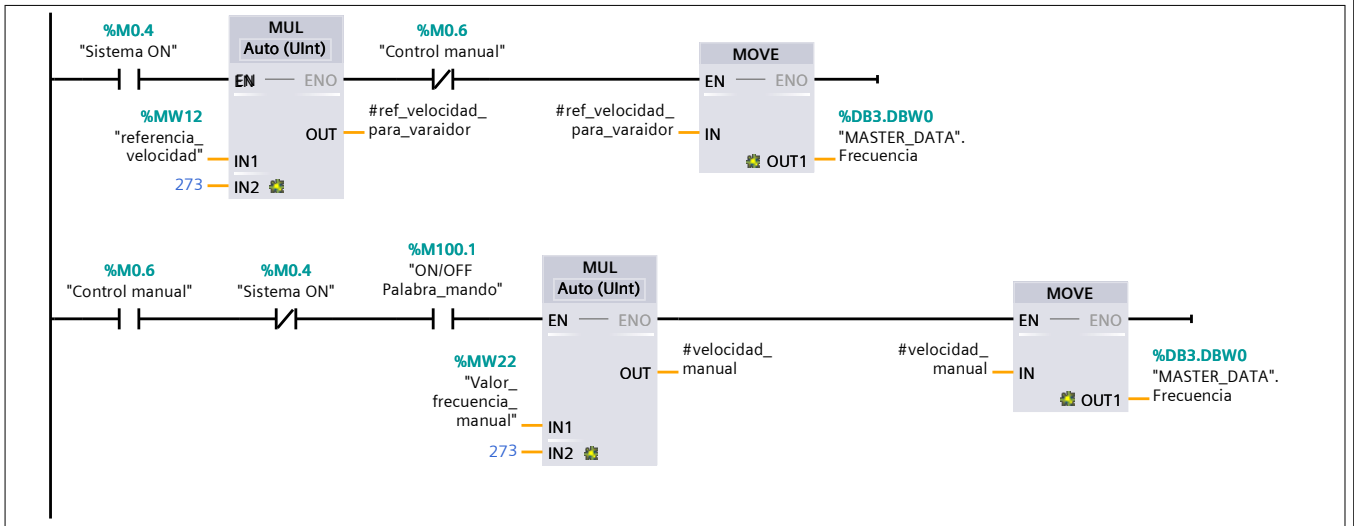
### Segmento 11:

Relación nivel de agua (cm) vs. velocidad de motor de bomba (Hz) - Control de variador por nivel



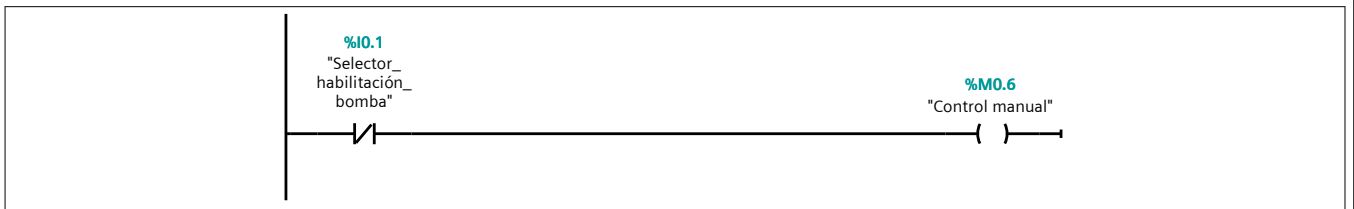
### Segmento 12:

Envío de velocidad de referencia a variador



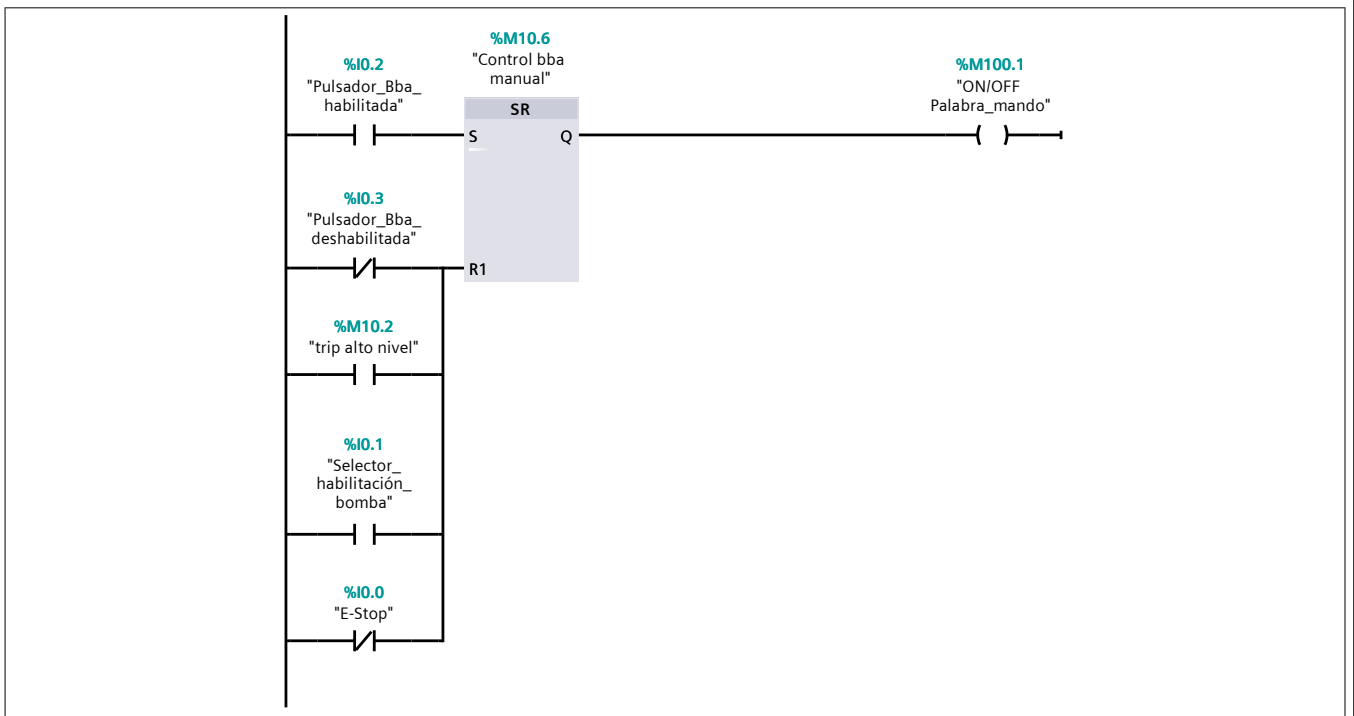
### Segmento 13:

Habilitación control manual



### Segmento 14:

Arranque de bomba en modo manual

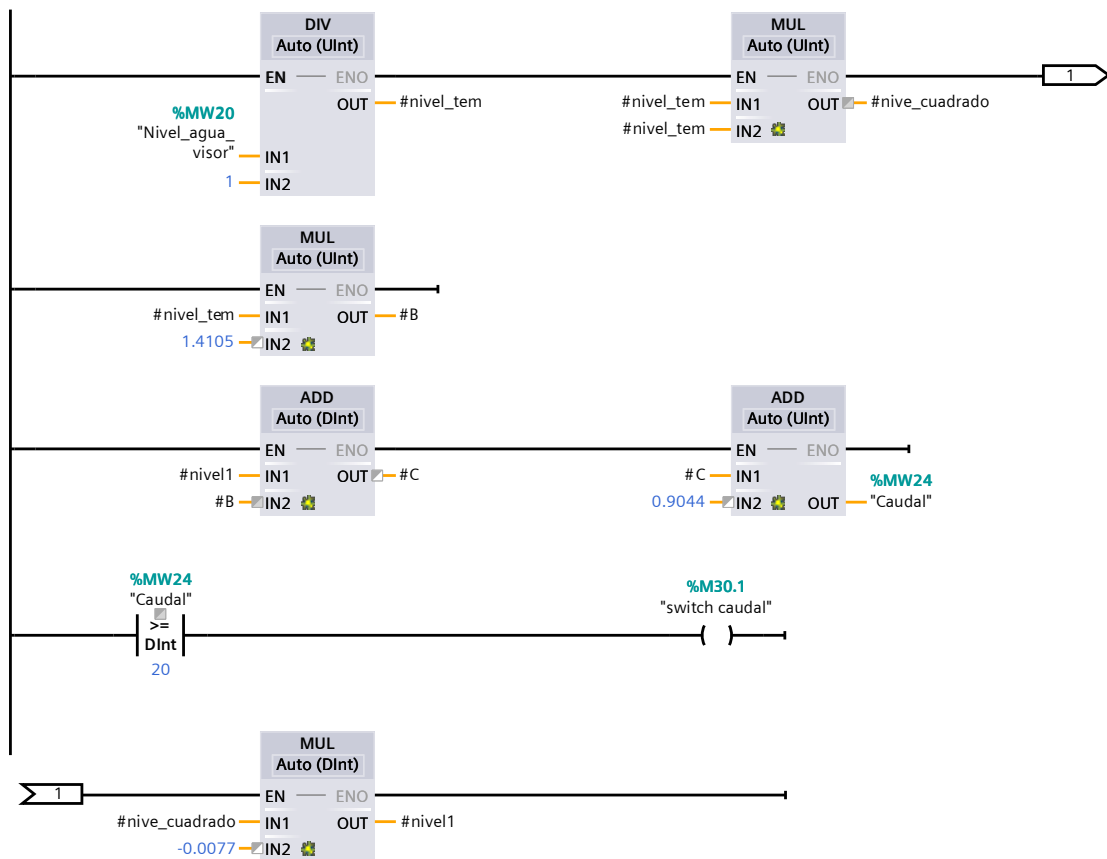


### Segmento 15:

Indicación de Caudal



### Segmento 15:



## Tesis Control de Nivel versión final / PLC\_1 [CPU 1212C AC/DC/Rly] / Bloques de programa

### MASTER\_DATA [DB3]

#### MASTER\_DATA Propiedades

##### General

<b>Nombre</b>	MASTER_DATA	<b>Número</b>	3	<b>Tipo</b>	DB
<b>Idioma</b>	DB	<b>Numeración</b>	Automático		

##### Información

<b>Título</b>		<b>Autor</b>		<b>Comentario</b>	
<b>Familia</b>		<b>Versión</b>	0.1	<b>ID personalizada</b>	

Nombre	Tipo de datos	Valor de arranque	Remanencia
▼ Static			
Frecuencia	Word	16#0	False
Palabra de mando	Word	16#0	False
Falla	Word	16#0	False
Estado ready to run	Word	16#0	False
Alarma	Word	16#0	False
Ultima falla	Word	16#0	False
last warning	Word	16#0	False
enable	Word	16#0	False
Palabra de estado	Word	16#0	False
STOP RUN	Word	16#0	False

## Tesis Control de Nivel versión final / PLC\_1 [CPU 1212C AC/DC/Rly] / Bloques de programa

### Arduino [FB1]

#### Arduino Propiedades

##### General

<b>Nombre</b>	Arduino	<b>Número</b>	1	<b>Tipo</b>	FB
<b>Idioma</b>	KOP	<b>Numeración</b>	Automático		

##### Información

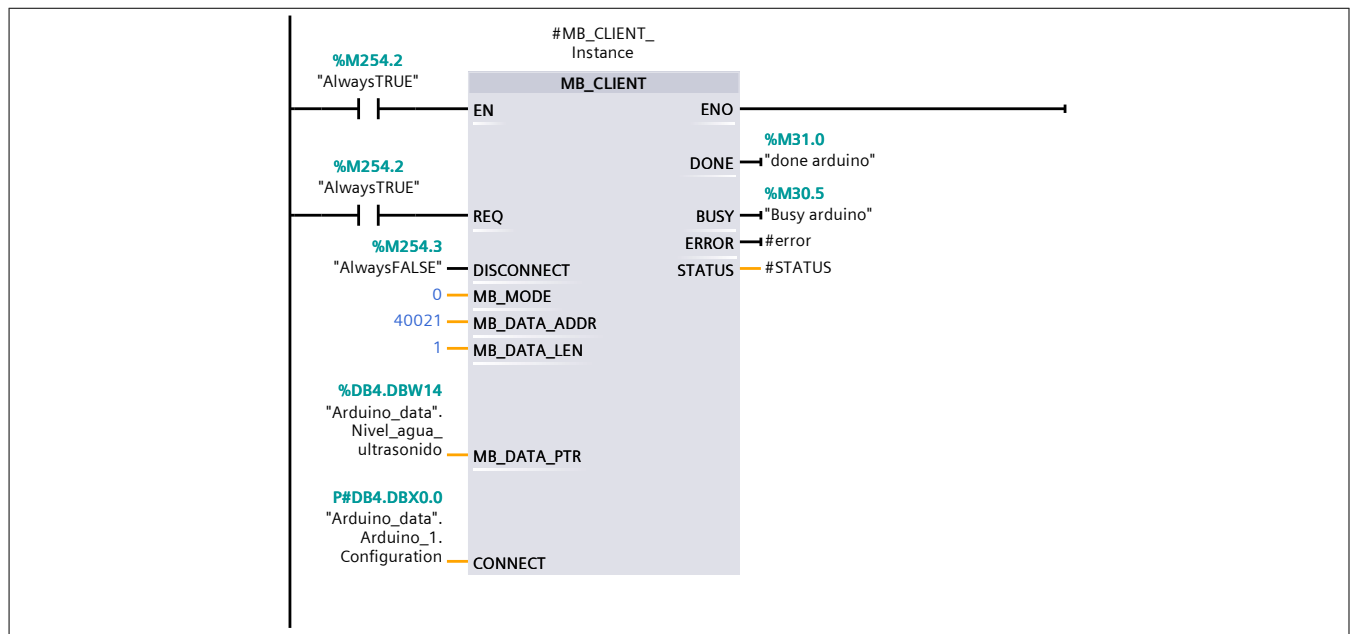
<b>Título</b>		<b>Autor</b>		<b>Comentario</b>	Programa para comunicación de Comunicación Modbus TCP con Arduino
<b>Familia</b>		<b>Versión</b>	0.1	<b>ID personalizada</b>	

Nombre	Tipo de datos	Valor predet.	Remanencia
Input			
Output			
InOut			
▼ Static			
▼ MB_Cliente	MB_CLIENT		
▼ Input			
REQ	Bool	false	No remanente
DISCONNECT	Bool	false	No remanente
MB_MODE	USInt	0	No remanente
MB_DATA_ADDR	UDInt	0	No remanente
MB_DATA_LEN	UInt	0	No remanente
▼ Output			
DONE	Bool	false	No remanente
BUSY	Bool	false	No remanente
ERROR	Bool	false	No remanente
STATUS	Word	16#0000	No remanente
▼ InOut			
MB_DATA_PTR	Variant		
CONNECT	Variant		
▼ Static			
▼ TCON	TCON		
▼ Input			
REQ	Bool	false	No remanente
ID	CONN_OUC	16#0	No remanente
▼ Output			
DONE	Bool	false	No remanente
BUSY	Bool	false	No remanente
ERROR	Bool	false	No remanente
STATUS	Word	W#16#7000	No remanente
▼ InOut			
CONNECT	Variant		
Static			
▼ TDISCON	TDISCON		
▼ Input			

Nombre	Tipo de datos	Valor predet.	Remanencia
PT	Time	T#0ms	No remanente
ET	Time	T#0ms	No remanente
IN	Bool	false	No remanente
Q	Bool	false	No remanente
Connected	Bool	false	No remanente
Active	Bool	false	No remanente
▼ Temp			
STATUS	Word		
Confirmacion	Bool		
done	Bool		
busy	Bool		
error	Bool		
done2	Bool		
busy2	Bool		
error2	Bool		
status2	Word		
done1	Bool		
busy1	Bool		
error1	Bool		
STATUS1	Word		
Activar_nivel	Bool		
Constant			

### Segmento 1:

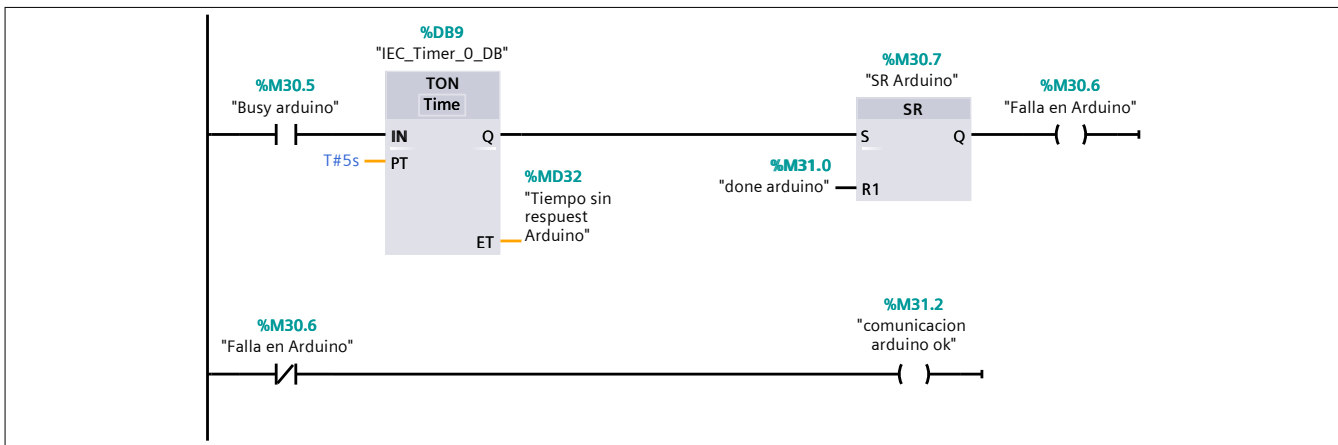
Adquisición data MB Sensor de nivel ultrasónico



### Segmento 2:

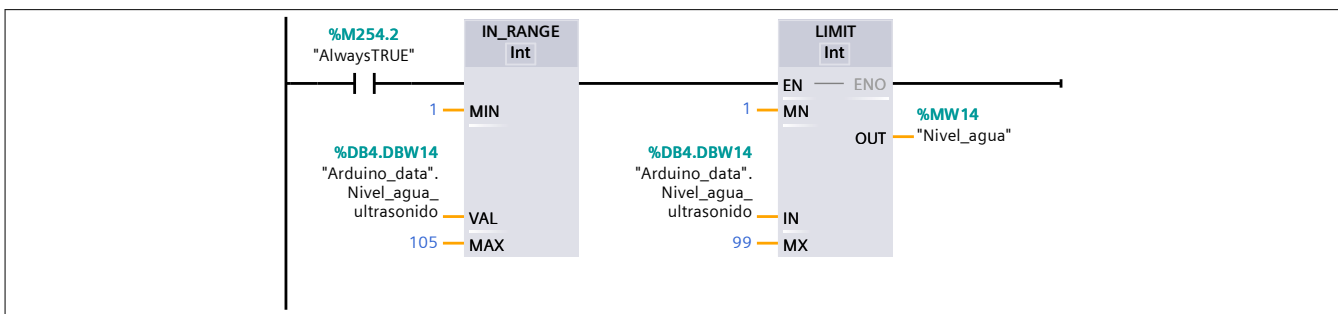
Programa de falla de comunicación de Arduino





### Segmento 3:

Recepción de nivel de agua



## Tesis Control de Nivel versión final / PLC\_1 [CPU 1212C AC/DC/Rly] / Bloques de programa

### Arduino\_data [DB4]

#### Arduino\_data Propiedades

##### General

<b>Nombre</b>	Arduino_data	<b>Número</b>	4	<b>Tipo</b>	DB
<b>Idioma</b>	DB	<b>Numeración</b>	Automático		

##### Información

<b>Título</b>		<b>Autor</b>		<b>Comentario</b>	
<b>Familia</b>		<b>Versión</b>	0.1	<b>ID personalizada</b>	

Nombre	Tipo de datos	Valor de arranque	Remanencia
▼ Static			
▼ Arduino_1	Struct		False
▼ Configuration	TCON_IP_v4		False
Interfaceld	HW_ANY	64	False
ID	CONN_OUC	16#1	False
ConnectionType	Byte	16#0B	False
ActiveEstablished	Bool	TRUE	False
▼ RemoteAddress	IP_V4		False
▼ ADDR	Array[1..4] of Byte		False
ADDR[1]	Byte	192	False
ADDR[2]	Byte	168	False
ADDR[3]	Byte	1	False
ADDR[4]	Byte	32	False
RemotePort	UInt	502	False
LocalPort	UInt	0	False
Nivel_agua_ultrasonido	Word	16#0	False
Caudalímetro	Word	16#0	False

# Tesis Control de Nivel versión final / PLC\_1 [CPU 1212C AC/DC/Rly] / Bloques de programa

## Cyclic interrupt [OB30]

### Cyclic interrupt Propiedades

#### General

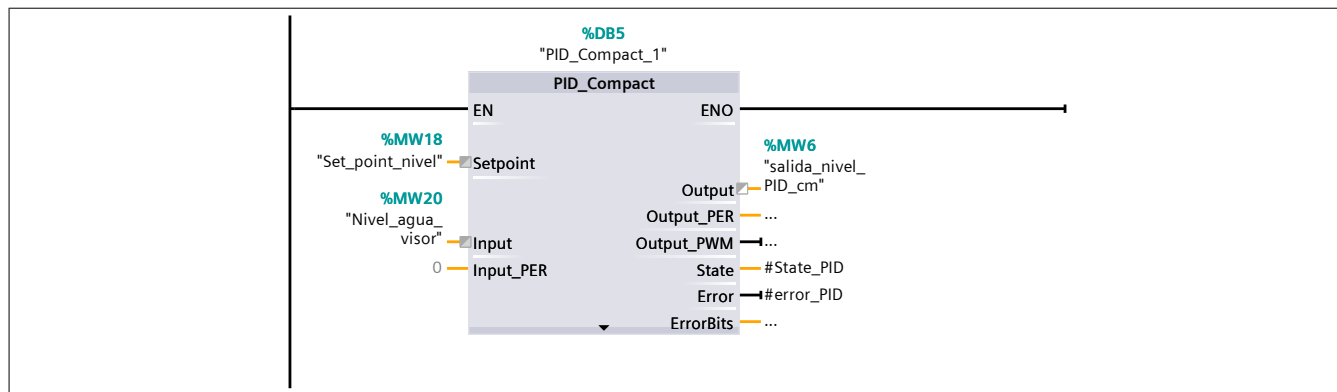
<b>Nombre</b>	Cyclic interrupt	<b>Número</b>	30	<b>Tipo</b>	OB
<b>Idioma</b>	KOP	<b>Numeración</b>	Automático		

#### Información

<b>Título</b>		<b>Autor</b>		<b>Comentario</b>	
<b>Familia</b>		<b>Versión</b>	0.1	<b>ID personalizada</b>	

Nombre	Tipo de datos	Valor predet.
▼ Input		
Initial_Call	Bool	
Event_Count	Int	
▼ Temp		
error_PLC	Bool	
State_PID	Int	
error_PID	Bool	
Constant		

### Segmento 1:



## Tesis Control de Nivel versión final / PLC\_1 [CPU 1212C AC/DC/Rly] / Bloques de programa

### Modbus Variador Esclavo [FB2]

#### Modbus Variador Esclavo Propiedades

##### General

<b>Nombre</b>	Modbus Variador Esclavo	<b>Número</b>	2	<b>Tipo</b>	FB
<b>Idioma</b>	KOP	<b>Numeración</b>	Automático		

##### Información

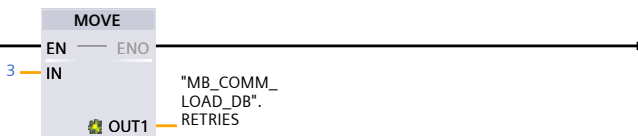
<b>Título</b>		<b>Autor</b>		<b>Comentario</b>	Programa para comunicación de Comunicación Modbus RTU con Variador
<b>Familia</b>		<b>Versión</b>	0.1	<b>ID personalizada</b>	

Nombre	Tipo de datos	Valor predet.
Input		
Output		
InOut		
Static		
▼ Temp		
busy1	Bool	
error1	Bool	
status1	Word	
done3	Bool	
busy3	Bool	
error3	Bool	
status3	Word	
done4	Bool	
busy4	Bool	
error4	Bool	
status4	Word	
done5	Bool	
busy5	Bool	
error5	Bool	
status5	Word	
done6	Bool	
done7	Bool	
done8	Bool	
error6	Bool	
error7	Bool	
enable	Word	
ready	Word	
stop/run	Word	
falla_drive	Word	
alarma_drive	Word	
Constant		

#### Segmento 1: Intentos de envío de paquetes de datos

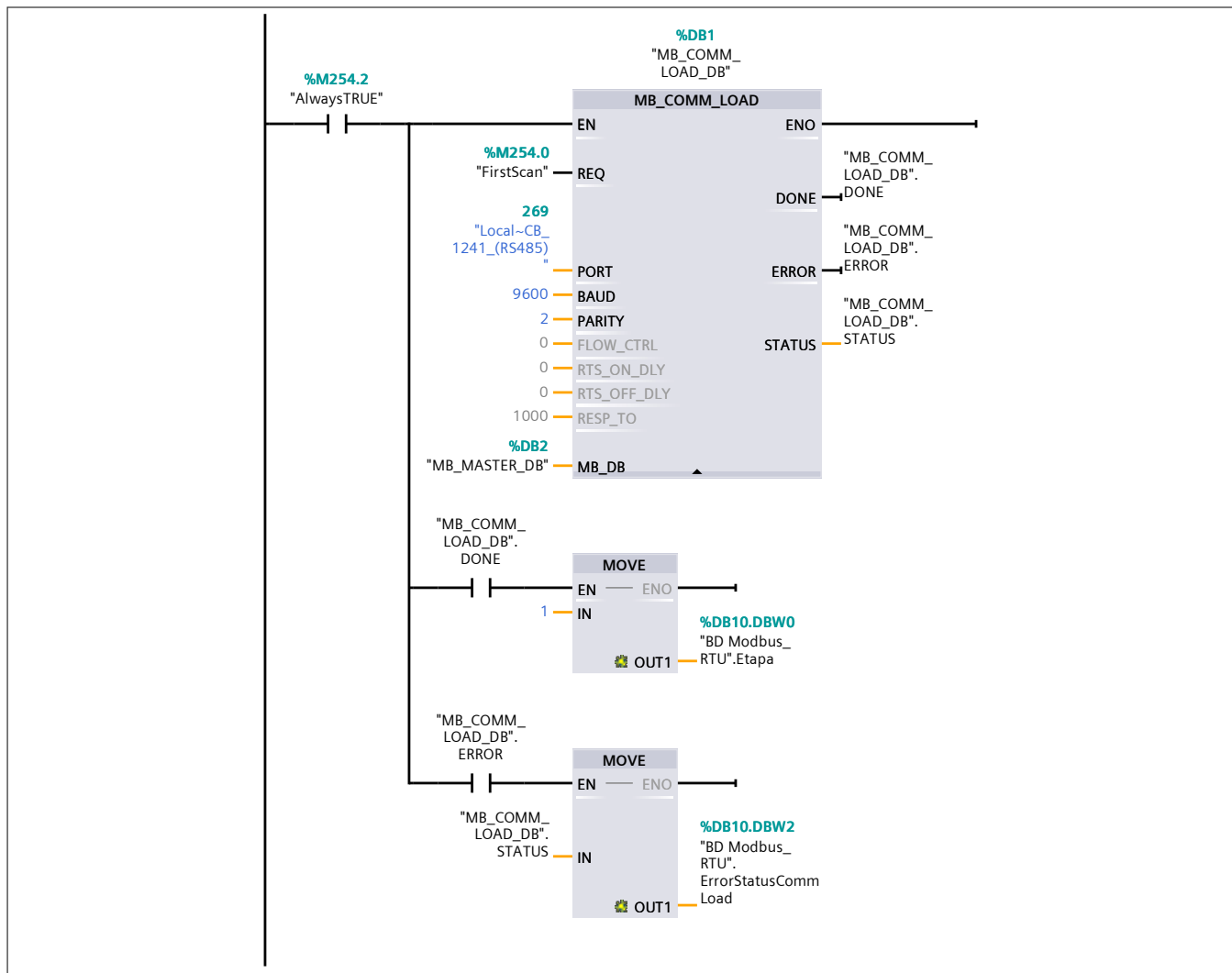
Configuración 3 intentos de envío de palabra



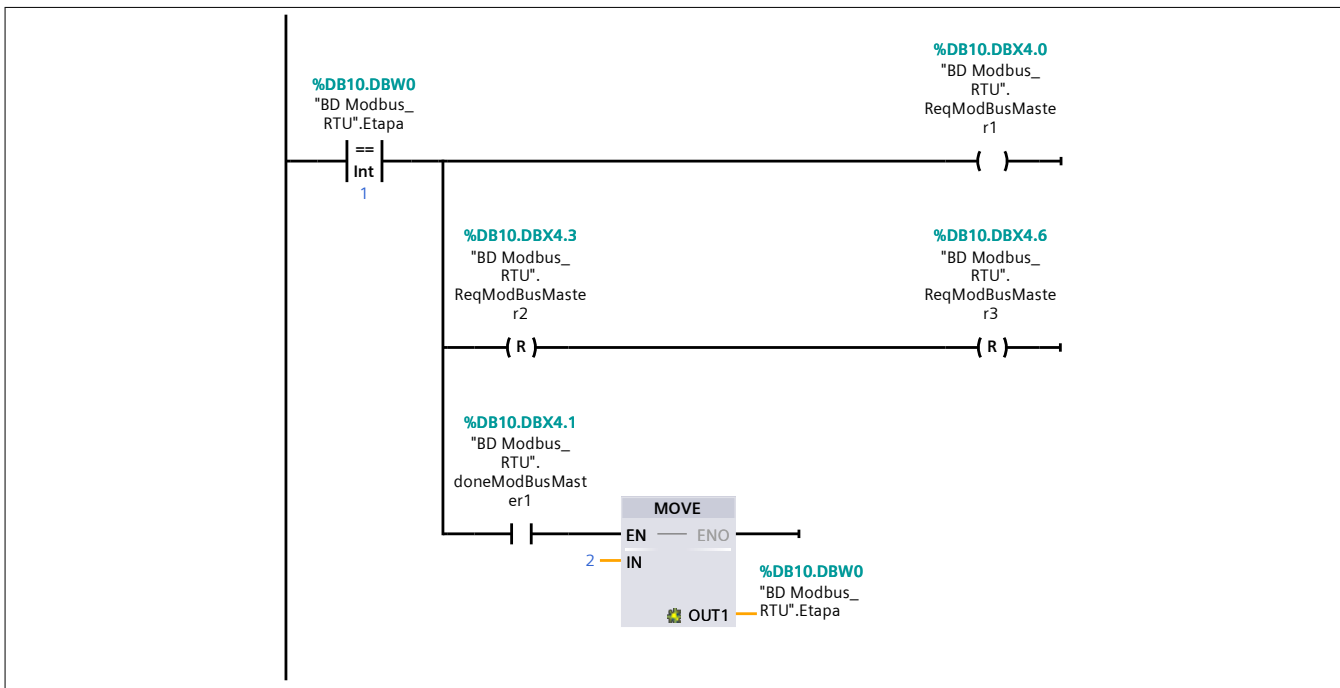


## Segmento 2: Configuración de comunicación Modbus

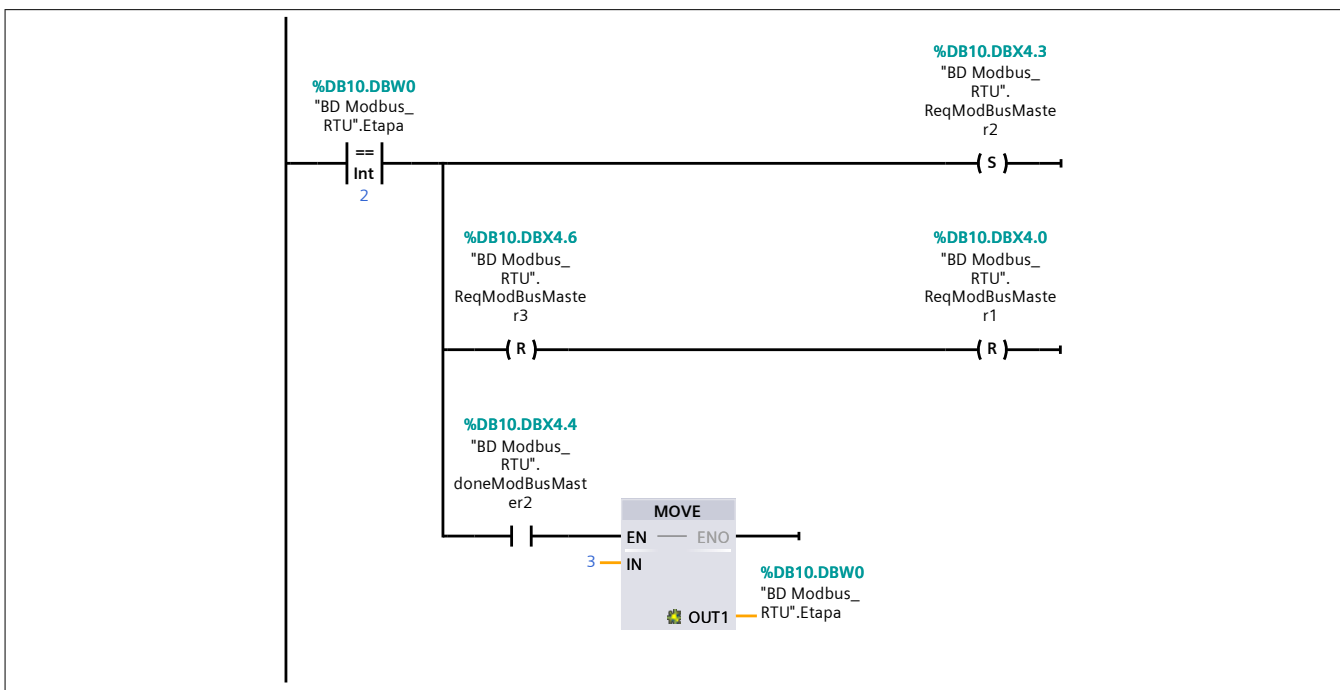
Inicialización del módulo Modbus RTU entre PLC y Variador



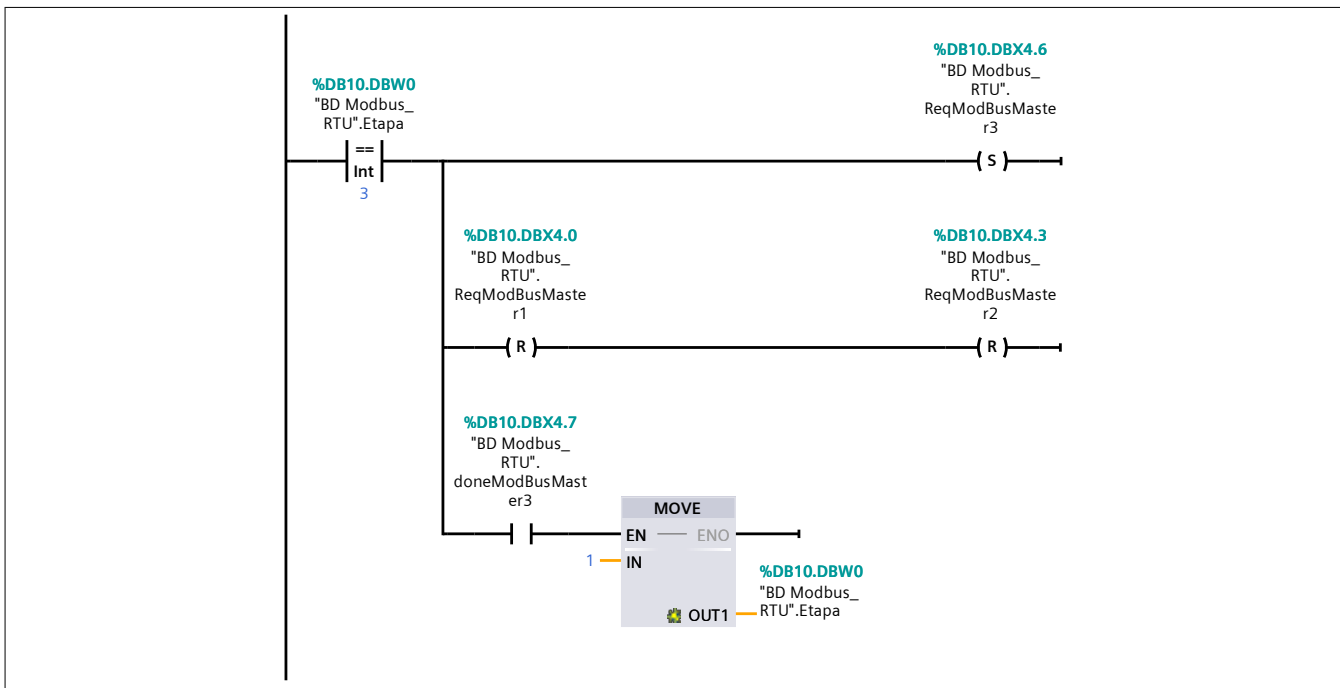
## Segmento 3: Etapa 1 de comunicación Modbus RTU



Segmento 4: Etapa 2 de comunicación Modbus RTU



Segmento 5: Etapa 3 de comunicación Modbus RTU

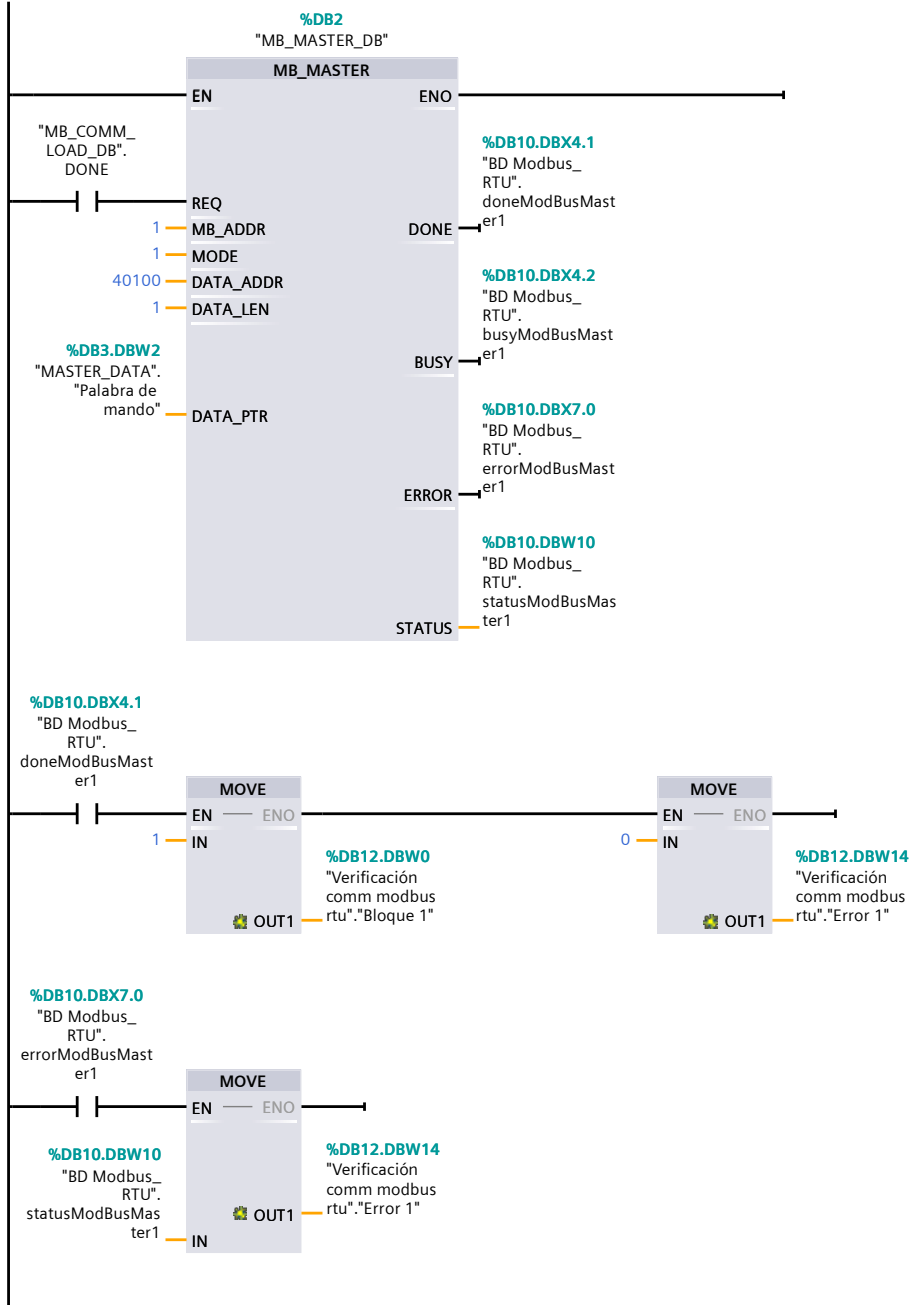


### Segmento 6: Escritura de palabra de mando STW

Número de registro 40100, envío de palabra de Mando a variador  
: Tiempo de vigilancia Pag186

Buscar en tabla de correspondencias

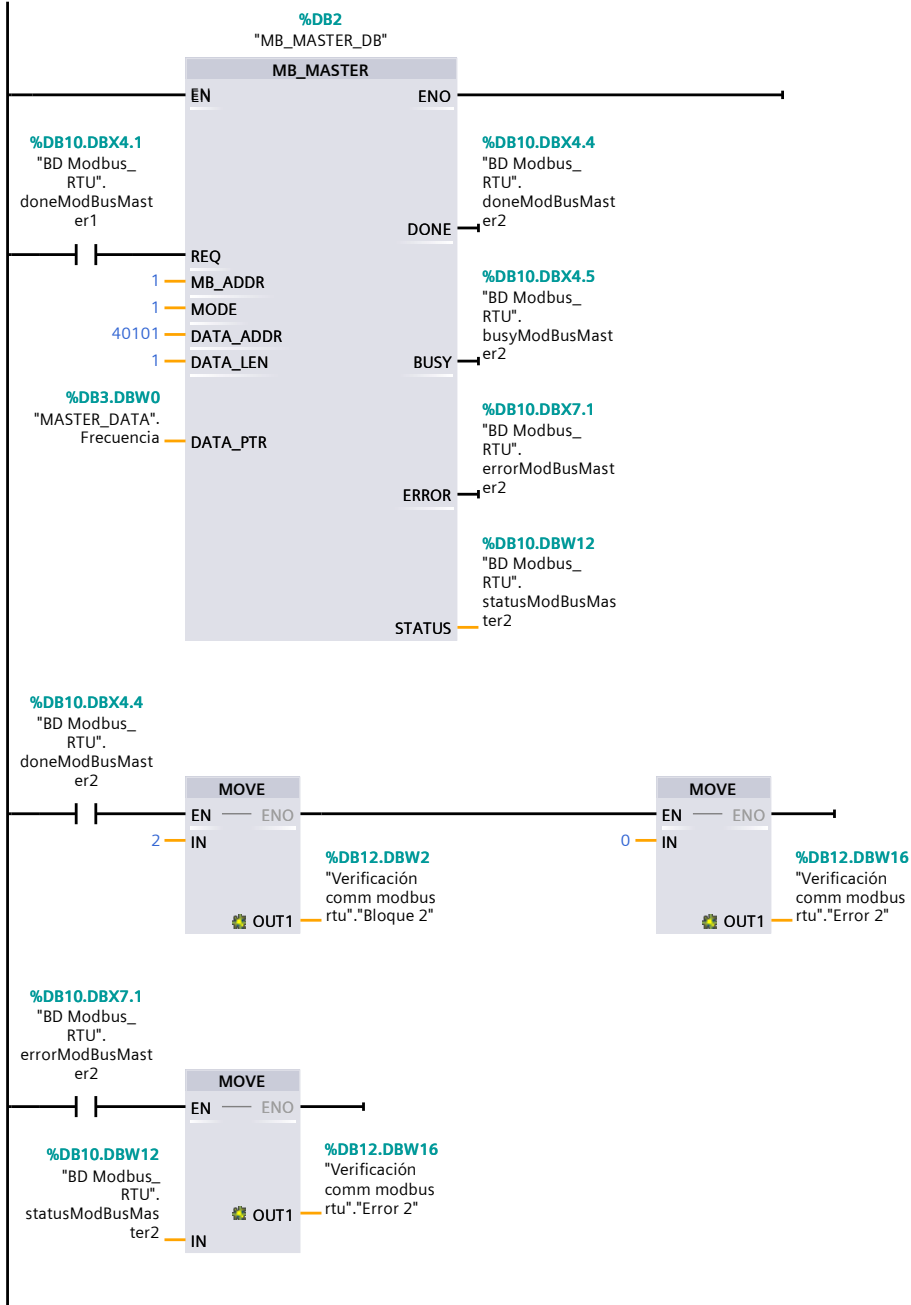
Envío de palabra de mando a Variador (Arranque)



### Segmento 7: Escritura de Consigna de velocidad HSW

Número de registro 40101  
 Envío de velocidad de referencia en Hertz a Variador



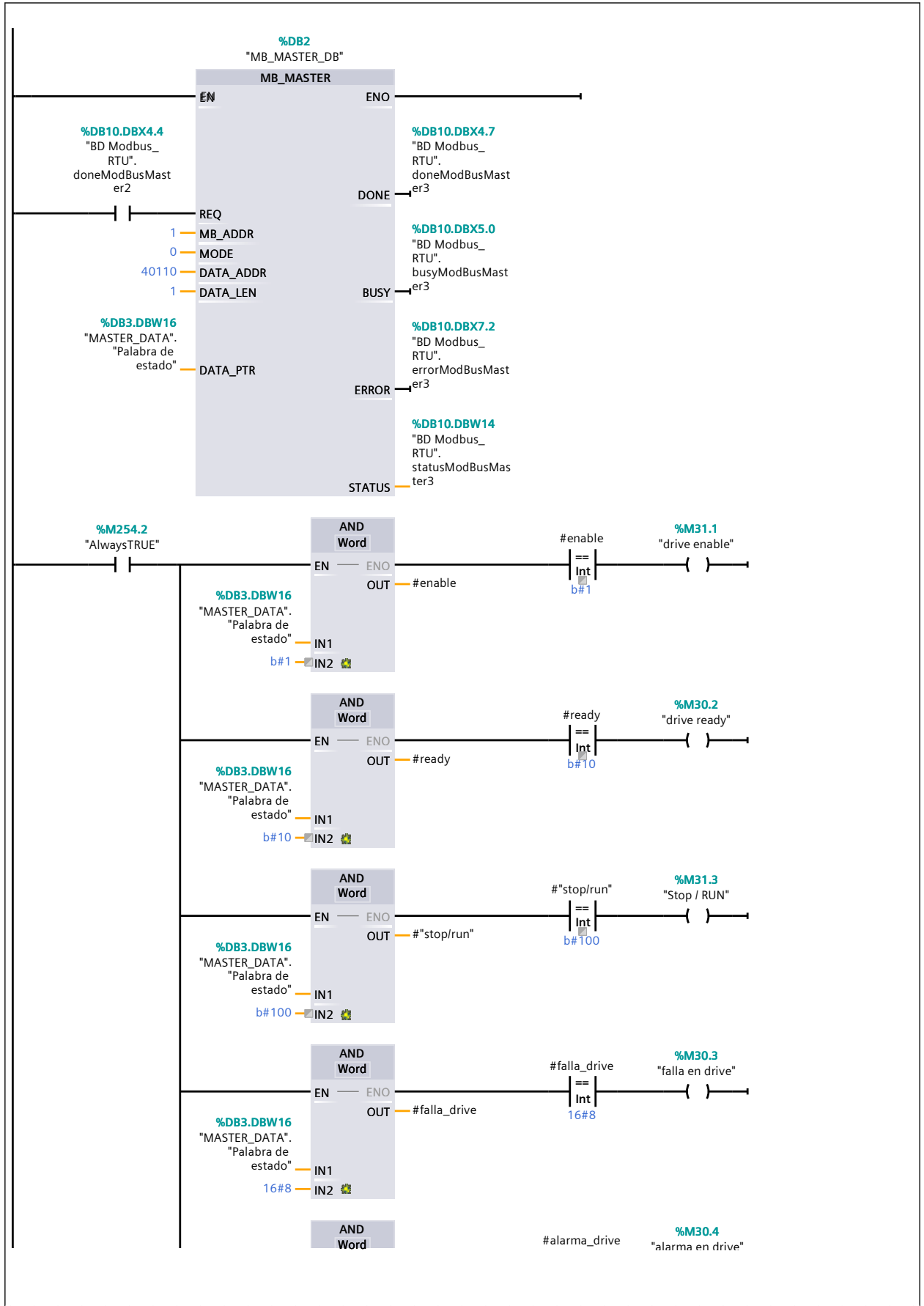


### Segmento 8: Palabra de estado ZSW

Número de registro 40110

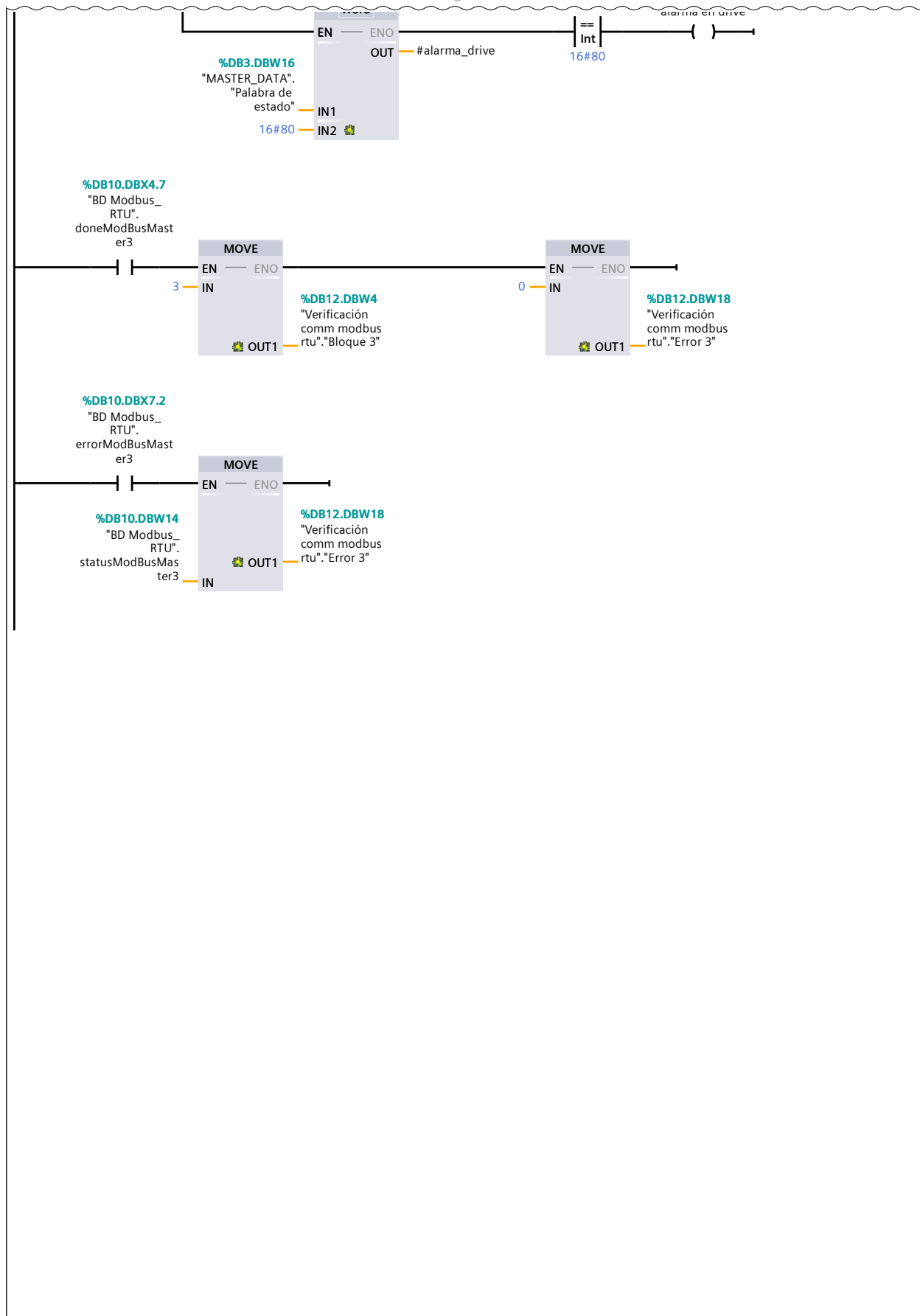
Lectura de Palabra de estado

Segmento 8: Palabra de estado ZSW (1.1 / 2.1)



### Segmento 8: Palabra de estado ZSW (2.1 / 2.1)

1.1 (Página 10 - 7)



## Tesis Control de Nivel versión final / PLC\_1 [CPU 1212C AC/DC/Rly] / Objetos tecnológicos

### PID\_Compact\_1 [DB5]

#### PID\_Compact\_1 Propiedades

##### General

<b>Nombre</b>	PID_Compact_1	<b>Número</b>	5	<b>Tipo</b>	DB
<b>Idioma</b>	DB	<b>Numeración</b>	Automático		

##### Información

<b>Título</b>		<b>Autor</b>	SIMATIC	<b>Comentario</b>	
<b>Familia</b>	COMPPID	<b>Versión</b>	2.3	<b>ID personalizada</b>	PID_Cmpt

Nombre	Tipo de datos	Valor de arranque	Remanencia
▼ Input			
Setpoint	Real	0.0	False
Input	Real	0.0	False
Input_PER	Int	0	False
Disturbance	Real	0.0	False
ManualEnable	Bool	false	False
ManualValue	Real	0.0	False
ErrorAck	Bool	false	False
Reset	Bool	false	False
ModeActivate	Bool	false	False
▼ Output			
ScaledInput	Real	0.0	False
Output	Real	0.0	False
Output_PER	Int	0	False
Output_PWM	Bool	false	False
SetpointLimit_H	Bool	false	False
SetpointLimit_L	Bool	false	False
InputWarning_H	Bool	false	False
InputWarning_L	Bool	false	False
State	Int	0	False
Error	Bool	false	False
ErrorBits	DWord	16#0	True
▼ InOut			
Mode	Int	4	True
▼ Static			
InternalDiagnostic	DWord	0	False
InternalVersion	DWord	DW#16#02030003	False
InternalRTVersion	DWord	0	False
IntegralResetMode	Int	4	False
OverwriteInitialOutputValue	Real	0.0	False
RunModeByStartup	Bool	TRUE	False
LoadBackUp	Bool	false	False
SetSubstituteOutput	Bool	TRUE	False
PhysicalUnit	Int	2	False
PhysicalQuantity	Int	3	False
ActivateRecoverMode	Bool	TRUE	False
Warning	DWord	16#0	True







































Nombre	Tipo de datos	Valor de arranque	Remanencia
WarningInternal	DWord	16#0	True
Progress	Real	0.0	False
CurrentSetpoint	Real	0.0	False
CancelTuningLevel	Real	10.0	False
SubstituteOutput	Real	0.0	False
▼ Config	PID_CompactConfig		False
InputPerOn	Bool	FALSE	False
InvertControl	Bool	FALSE	False
InputUpperLimit	Real	100.0	False
InputLowerLimit	Real	0.5	False
InputUpperWarning	Real	3.402822E+38	False
InputLowerWarning	Real	-3.402822E+38	False
OutputUpperLimit	Real	75.0	False
OutputLowerLimit	Real	0.0	False
SetpointUpperLimit	Real	3.402822E+38	False
SetpointLowerLimit	Real	-3.402822E+38	False
MinimumOnTime	Real	0.0	False
MinimumOffTime	Real	0.0	False
▼ InputScaling	PID_Scaling		False
UpperPointIn	Real	85.0	False
LowerPointIn	Real	20.0	False
UpperPointOut	Real	85.0	False
LowerPointOut	Real	20.0	False
▼ CycleTime	PID_CycleTime		False
StartEstimation	Bool	true	False
EnEstimation	Bool	TRUE	False
EnMonitoring	Bool	TRUE	False
Value	Real	0.0009973	False
▼ CtrlParamsBackUp	PID_CompactControl-Params		False
Gain	Real	10.5	False
Ti	Real	4.5	False
Td	Real	2.3	False
TdFiltRatio	Real	0.1	False
PWeighting	Real	1.0	False
DWeighting	Real	0.0	False
Cycle	Real	0.3065	False
▼ PIDSelfTune	PID_CompactSelf-Tune		False
▼ SUT	PID_Compact_SUT		False
CalculateParams	Bool	false	False
TuneRule	Int	0	False
State	Int	0	False
▼ TIR	PID_Compact_TIR		False
RunIn	Bool	false	False
CalculateParams	Bool	false	False
TuneRule	Int	0	False
State	Int	0	False
▼ PIDCtrl	PID_CompactControl		False
PIDInit	Bool	false	False
IntegralSum	Real	0.0	False





































Totally Integrated  
Automation Portal

Nombre	Tipo de datos	Valor de arranque	Remanencia
▼ Retain	PID_CompactRetain		True
▼ CtrlParams	PID_CompactControl-Params		True
Gain	Real	4.29119	True
Ti	Real	12.81844	True
Td	Real	3.235883	True
TdFiltRatio	Real	0.1	True
PWeighting	Real	0.2617496	True
DWeighting	Real	0.0	True
Cycle	Real	0.3014564	True

## Tesis Control de Nivel versión final / PLC\_1 [CPU 1212C AC/DC/Rly] / Variables PLC / Tabla de variables estándar [102]

### Variables PLC

Variables PLC				
	Nombre	Tipo de datos	Dirección	Remanencia
	System_Byte	Byte	%MB254	False
	FirstScan	Bool	%M254.0	False
	AlwaysTRUE	Bool	%M254.2	False
	AlwaysFALSE	Bool	%M254.3	False
	Clock_1Hz	Bool	%M255.5	False
	Clock	Bool	%M0.0	False
	done2	Bool	%M0.1	False
	busy2	Bool	%M0.2	False
	error2	Bool	%M0.3	False
	status2	Word	%MW2	False
	status2_valor	Word	%MW4	False
	ON/OFF Palabra_mando	Bool	%M100.1	False
	Asignación_palabra_mando	Bool	%M100.2	False
	done_1	Bool	%M1.1	False
	referencia_velocidad	Word	%MW12	False
	Nivel_agua	Word	%MW14	False
	Caudal	UInt	%MW24	False
	Set_point_nivel	Int	%MW18	False
	Nivel_aguavisor	UInt	%MW20	False
	E-Stop	Bool	%IO.0	False
	Selector_habilitación_bomba	Bool	%IO.1	False
	Pulsador_Bba_habilitada	Bool	%IO.2	False
	Pulsador_Bba_deshabilitada	Bool	%IO.3	False
	Luz_Bba_deshabilitada	Bool	%Q0.0	False
	Luz_Bba_habilitada	Bool	%Q0.1	False
	Valvula_descarga	Bool	%Q0.2	False
	Sistema ON	Bool	%M0.4	False
	Encendido de sistema	Bool	%M0.5	False
	Control manual	Bool	%M0.6	False
	Valor_frecuencia_manual	UInt	%MW22	False
	encendido manual valvula	Bool	%M0.7	False
	salida_nivel_PID_cm	Int	%MW6	False
	Set_point_caudal	UInt	%MW16	False
	Salida_caudal_PID	UInt	%MW28	False
	Tipo_control	Bool	%M1.0	False
	Tag_1	Word	%MW8	False

	Nombre	Tipo de datos	Dirección	Remanencia
	Tag_2	Word	%MW1	False
	Tag_3	Bool	%M255.2	False
	clock_arduino	Bool	%M10.0	False
	Clock 5Hz	Bool	%M255.1	False
	Clock 2Hz	Bool	%M255.3	False
	Nivel alto tanque	Bool	%I0.4	False
	Nivel bajo reservorio	Bool	%I0.5	False
	Nivel alto alcanzado	Bool	%M10.1	False
	condicion reinicio	Char	%MB11	False
	trip alto nivel	Bool	%M10.2	False
	reset trip	Bool	%M10.3	False
	Bomba Off	Bool	%M10.4	False
	Bomba On	Bool	%M10.5	False
	Caudal_calculado	Int	%MW26	False
	Control bba manual	Bool	%M10.6	False
	start_automatico	Bool	%M10.7	False
	stop_automatico	Bool	%M30.0	False
	switch caudal	Bool	%M30.1	False
	drive ready	Bool	%M30.2	False
	falla en drive	Bool	%M30.3	False
	alarma en drive	Bool	%M30.4	False
	Busy arduino	Bool	%M30.5	False
	Tiempo sin respuest Arduino	Time	%MD32	False
	Falla en Arduino	Bool	%M30.6	False
	SR Arduino	Bool	%M30.7	False
	done arduino	Bool	%M31.0	False
	Paso	Byte	%MB36	False
	ultima falla	Int	%MW38	False
	Ultima alarma	Word	%MW40	False
	drive enable	Bool	%M31.1	False
	comunicacion arduino ok	Bool	%M31.2	False
	Tag_4	Bool	%M255.6	False
	Stop / RUN	Bool	%M31.3	False
	Fault ACK	Bool	%M31.4	False
	Marcha	Bool	%M31.5	False
	Paro / puesta en marcha	Bool	%M31.6	False



## Código de programación en Arduino

// Tesis: DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN MÓDULO DE CONTROL DE NIVEL DE LÍQUIDO  
USANDO UN VARIADOR DE VELOCIDAD SINAMICS V20 Y ARDUINO PARA LA ADQUISICIÓN DE  
SEÑALES MEDIANTE COMUNICACIÓN MODBUS RTU Y TCP

// Integrantes: Loayza Rodríguez Jonathan y Mendiola Villanueva Gino

// Declaración de Librerías

```
#include <SPI.h>
```

```
#include <Ethernet.h>
```

```
#include "Mudbus.h"
```

// Declaracion Ultrasonico nivel de agua

```
#define ECHOPIN 4 // Pin echo pulse
```

```
#define TRIGPIN 3 // Pin trigger pulse
```

// Declaración de variable Modbus

```
Mudbus Mb;
```

//Declaración Variable

```
int distance;
```

//Inicialización de configuración

```
void setup()
```

```
{
```

// Configuración de la IP

```
uint8_t mac[] = { 0x90, 0xA2, 0xDA, 0x00, 0x51, 0x06 };
```

```
uint8_t ip[] = { 192, 168, 1, 32 };
```

```
uint8_t gateway[] = { 192, 168, 1, 1 };
```

```
uint8_t subnet[] = { 255, 255, 255, 0 };
```

//Evitar usar pines 4,10,11,12,13 ya que son usados por el shield ethernet

```
Ethernet.begin(mac, ip, gateway, subnet);
```

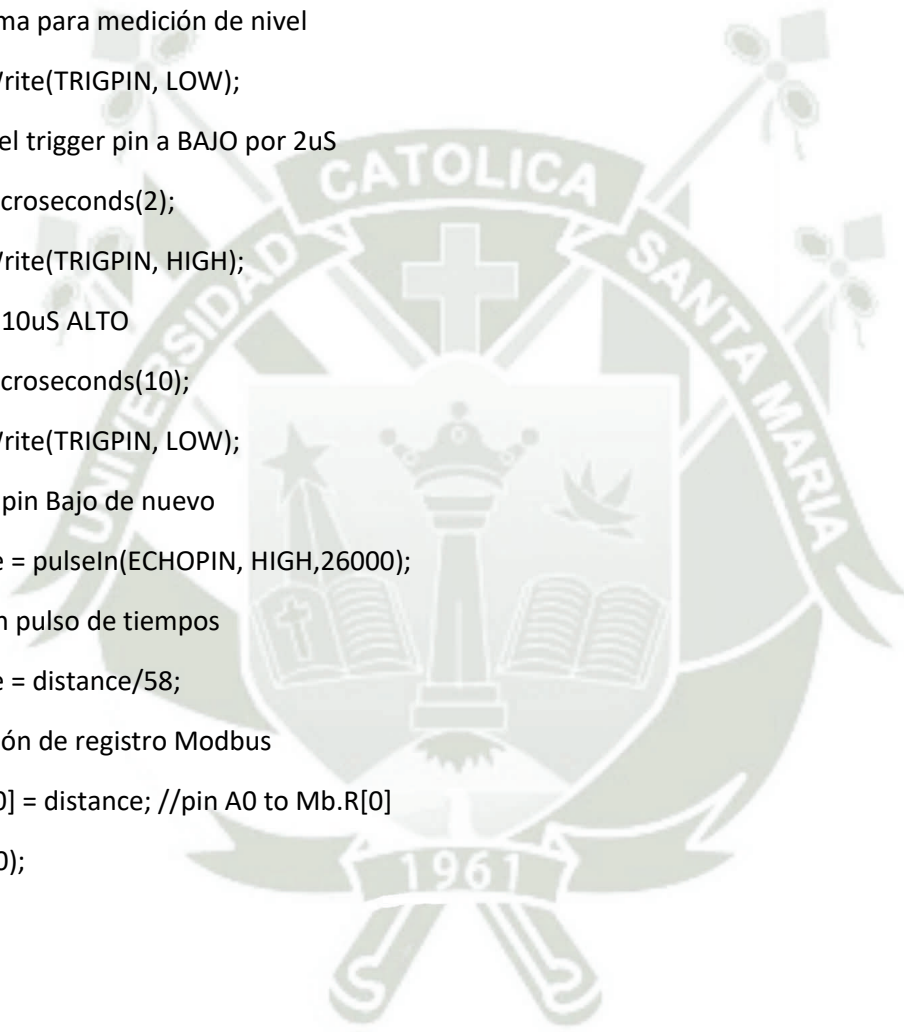
// Configuración de pines

```
pinMode(ECHOPIN, INPUT);
```

```
pinMode(TRIGPIN, OUTPUT);
```

```
digitalWrite(ECHOPIN, HIGH);
```

```
}  
  
//Inicialización de programa  
void loop()  
{  
//Inicialización de comunicación Modbus  
  Mb.Run();  
//Programa para medición de nivel  
  digitalWrite(TRIGPIN, LOW);  
// Poner el trigger pin a BAJO por 2uS  
  delayMicroseconds(2);  
  digitalWrite(TRIGPIN, HIGH);  
// Enviar 10uS ALTO  
  delayMicroseconds(10);  
  digitalWrite(TRIGPIN, LOW);  
// Enviar pin Bajo de nuevo  
  distance = pulseIn(ECHOPIN, HIGH,26000);  
// Leer en pulso de tiempos  
  distance = distance/58;  
//Creación de registro Modbus  
  Mb.R[20] = distance; //pin A0 to Mb.R[0]  
  delay(250);  
}
```





**ANEXO 5**

**HOJAS DE DATOS**

SIMATIC S7-1200, CPU 1212C, COMPACT CPU, AC/DC/RLY,  
 ONBOARD I/O: 8 DI 24V DC; 6 DO RELAY 2A; 2 AI 0 - 10V DC,  
 POWER SUPPLY: AC 85 - 264 V AC AT 47 - 63 HZ,  
 PROGRAM/DATA MEMORY: 75 KB



General information	
Product type designation	CPU 1212C AC/DC/Relay
Firmware version	V4.2
Engineering with	
<ul style="list-style-type: none"> <li>Programming package</li> </ul>	STEP 7 V14 or higher
Supply voltage	
Rated value (AC)	
<ul style="list-style-type: none"> <li>120 V AC</li> <li>230 V AC</li> </ul>	Yes
permissible range, lower limit (AC)	85 V
permissible range, upper limit (AC)	264 V
Line frequency	
<ul style="list-style-type: none"> <li>permissible range, lower limit</li> <li>permissible range, upper limit</li> </ul>	47 Hz 63 Hz
Input current	
Current consumption (rated value)	80 mA at 120 V AC; 40 mA at 240 V AC
Current consumption, max.	240 mA at 120 V AC; 120 mA at 240 V AC
Inrush current, max.	20 A; at 264 V



I <sup>2</sup> t	0.8 A <sup>2</sup> ·s
<b>Output current</b>	
for backplane bus (5 V DC), max.	1 000 mA; Max. 5 V DC for SM and CM
<b>Encoder supply</b>	
24 V encoder supply	
• 24 V	20.4 to 28.8V
<b>Power loss</b>	
Power loss, typ.	11 W
<b>Memory</b>	
Work memory	
• integrated	75 kbyte
• expandable	No
Load memory	
• integrated	2 Mbyte
• Plug-in (SIMATIC Memory Card), max.	with SIMATIC memory card
Backup	
• present	Yes
• maintenance-free	Yes
• without battery	Yes
<b>CPU processing times</b>	
for bit operations, typ.	0.08 µs; / instruction
for word operations, typ.	1.7 µs; / instruction
for floating point arithmetic, typ.	2.3 µs; / instruction
<b>CPU-blocks</b>	
Number of blocks (total)	DBs, FCs, FBs, counters and timers. The maximum number of addressable blocks ranges from 1 to 65535. There is no restriction, the entire working memory can be used
OB	
• Number, max.	Limited only by RAM for code
<b>Data areas and their retentivity</b>	
Retentive data area (incl. timers, counters, flags), max.	10 kbyte
Flag	
• Number, max.	4 kbyte; Size of bit memory address area
Local data	
• per priority class, max.	16 kbyte; Priority class 1 (program cycle): 16 KB, priority class 2 to 26: 6 KB
<b>Address area</b>	
Process image	
• Inputs, adjustable	1 kbyte

- Outputs, adjustable

1 kbyte

## Hardware configuration

Number of modules per system, max. 3 comm. modules, 1 signal board, 2 signal modules

## Time of day

### Clock

- Hardware clock (real-time) Yes
- Backup time 480 h; Typical
- Deviation per day, max. +/- 60 s/month at 25 °C

## Digital inputs

Number of digital inputs 8; Integrated  
 • of which inputs usable for technological functions 4; HSC (High Speed Counting)

Source/sink input Yes

### Number of simultaneously controllable inputs

all mounting positions

— up to 40 °C, max. 8

### Input voltage

- Rated value (DC) 24 V
- for signal "0" 5 V DC at 1 mA
- for signal "1" 15 V DC at 2.5 mA

### Input delay (for rated value of input voltage)

for standard inputs

- parameterizable 0.2 ms, 0.4 ms, 0.8 ms, 1.6 ms, 3.2 ms, 6.4 ms and 12.8 ms, selectable in groups of four
- at "0" to "1", min. 0.2 ms
- at "0" to "1", max. 12.8 ms

for interrupt inputs

- parameterizable Yes

for counter/technological functions

- parameterizable Single phase: 3 @ 100 kHz & 3 @ 30 kHz, differential: 3 @ 80 kHz & 3 @ 30 kHz

### Cable length

- shielded, max. 500 m; 50 m for technological functions
- unshielded, max. 300 m; For technological functions: No

## Digital outputs

Number of digital outputs 6; Relays

### Switching capacity of the outputs

- with resistive load, max. 2 A
- on lamp load, max. 30 W with DC, 200 W with AC

### Output delay with resistive load

- "0" to "1", max. 10 ms; max.

• "1" to "0", max.	10 ms; max.
<b>Relay outputs</b>	
• Number of operating cycles, max.	mechanically 10 million, at rated load voltage 100 000
<b>Cable length</b>	
• shielded, max.	500 m
• unshielded, max.	150 m
<b>Analog inputs</b>	
Number of analog inputs	2
<b>Input ranges</b>	
• Voltage	Yes
<b>Input ranges (rated values), voltages</b>	
• 0 to +10 V	Yes
• Input resistance (0 to 10 V)	≥100k ohms
<b>Cable length</b>	
• shielded, max.	100 m; twisted and shielded
<b>Analog outputs</b>	
Number of analog outputs	0
<b>Analog value generation for the inputs</b>	
<b>Integration and conversion time/resolution per channel</b>	
• Resolution with overrange (bit including sign), max.	10 bit
• Integration time, parameterizable	Yes
• Conversion time (per channel)	625 μs
<b>Encoder</b>	
<b>Connectable encoders</b>	
• 2-wire sensor	Yes
<b>1. Interface</b>	
Interface type	PROFINET
Physics	Ethernet
Isolated	Yes
automatic detection of transmission rate	Yes
Autonegotiation	Yes
Autocrossing	Yes
<b>Interface types</b>	
• Number of ports	1
• integrated switch	No
<b>Functionality</b>	
• PROFINET IO Controller	Yes
• PROFINET IO Device	Yes
• SIMATIC communication	Yes

• Open IE communication	Yes
• Web server	Yes
• Media redundancy	No
<b>PROFINET IO Controller</b>	
• Transmission rate, max.	100 Mbit/s
<b>Services</b>	
— PG/OP communication	Yes
— S7 routing	Yes
— Isochronous mode	No
— Open IE communication	Yes
— IRT	No
— MRP	No
— MRPD	No
— PROFINergy	No
— Prioritized startup	Yes
— Number of IO devices with prioritized startup, max.	16
— Number of connectable IO Devices, max.	16
— Number of connectable IO Devices for RT, max.	16
— of which in line, max.	16
— Activation/deactivation of IO Devices	Yes
— Number of IO Devices that can be simultaneously activated/deactivated, max.	8
— Updating time	The minimum value of the update time also depends on the communication component set for PROFINET IO, on the number of IO devices and the quantity of configured user data.
<b>PROFINET IO Device</b>	
<b>Services</b>	
— PG/OP communication	Yes
— S7 routing	Yes
— Isochronous mode	No
— Open IE communication	Yes
— IRT	No
— MRP	No
— MRPD	No
— PROFINergy	Yes
— Shared device	Yes
— Number of IO Controllers with shared device, max.	2
<b>Protocols</b>	
Supports protocol for PROFINET IO	Yes



PROFIBUS	Yes; CM 1243-5 required
AS-Interface	Yes; CM 1243-2 required
<b>Protocols (Ethernet)</b>	
• TCP/IP	Yes
• DHCP	No
• SNMP	Yes
• DCP	Yes
• LLDP	Yes
<b>Open IE communication</b>	
• TCP/IP	
— Data length, max.	8 kbyte
• ISO-on-TCP (RFC1006)	Yes
— Data length, max.	8 kbyte
• UDP	
— Data length, max.	1 472 byte
<b>Further protocols</b>	
• MODBUS	Yes
<b>Communication functions</b>	
<b>S7 communication</b>	
• supported	Yes
• as server	Yes
• as client	Yes
• User data per job, max.	See online help (S7 communication, user data size)
<b>Open IE communication</b>	
• TCP/IP	Yes
• UDP	Yes
<b>Web server</b>	
• supported	Yes
• User-defined websites	Yes
<b>Number of connections</b>	
• overall	16; dynamically
<b>Test commissioning functions</b>	
<b>Status/control</b>	
• Status/control variable	Yes
• Variables	Inputs/outputs, memory bits, DBs, distributed I/Os, timers, counters
<b>Forcing</b>	
• Forcing	Yes
<b>Diagnostic buffer</b>	
• present	Yes
<b>Traces</b>	

- Number of configurable Traces 2
- Memory size per trace, max. 512 kbyte

### Interrupts/diagnostics/status information

Diagnostics indication LED	
• RUN/STOP LED	Yes
• ERROR LED	Yes
• MAINT LED	Yes

### Integrated Functions

Number of counters	4
Counting frequency (counter) max.	100 kHz
Frequency meter	Yes
controlled positioning	Yes
Number of position-controlled positioning axes, max.	8
Number of positioning axes via pulse-direction interface	Up to 4 with SB 1222
PID controller	Yes
Number of alarm inputs	4

### Potential separation

Potential separation digital inputs	
• Potential separation digital inputs	500V AC for 1 minute
• between the channels, in groups of	1
Potential separation digital outputs	
• Potential separation digital outputs	Relays
• between the channels	No
• between the channels, in groups of	2

### EMC

Interference immunity against discharge of static electricity	
• Interference immunity against discharge of static electricity acc. to IEC 61000-4-2	Yes
— Test voltage at air discharge	8 kV
— Test voltage at contact discharge	6 kV
Interference immunity to cable-borne interference	
• Interference immunity on supply lines acc. to IEC 61000-4-4	Yes
• Interference immunity on signal cables acc. to IEC 61000-4-4	Yes
Interference immunity against voltage surge	
• on the supply lines acc. to IEC 61000-4-5	Yes
Interference immunity against conducted variable disturbance induced by high-frequency fields	
• Interference immunity against high-frequency radiation acc. to IEC 61000-4-6	Yes

<b>Emission of radio interference acc. to EN 55 011</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Limit class A, for use in industrial areas</li> <li>• Limit class B, for use in residential areas</li> </ul>	<p>Yes; Group 1</p> <p>Yes; When appropriate measures are used to ensure compliance with the limits for Class B according to EN 55011</p>
<b>Degree and class of protection</b>	
Degree of protection acc. to EN 60529	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• IP20</li> </ul>	Yes
<b>Standards, approvals, certificates</b>	
CE mark	Yes
UL approval	Yes
cULus	Yes
FM approval	Yes
RCM (formerly C-TICK)	Yes
KC approval	Yes
Marine approval	Yes
<b>Ambient conditions</b>	
Free fall	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fall height, max.</li> </ul>	0.3 m; five times, in product package
Ambient temperature during operation	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• min.</li> <li>• max.</li> <li>• horizontal installation, min.</li> <li>• horizontal installation, max.</li> <li>• vertical installation, min.</li> <li>• vertical installation, max.</li> </ul>	<p>-20 °C</p> <p>60 °C; Number of simultaneously activated inputs or outputs 4 or 3 (no adjacent points) at 60 °C horizontal or 50 °C vertical, 8 or 6 at 55 °C horizontal or 45 °C vertical</p> <p>-20 °C</p> <p>60 °C</p> <p>-20 °C</p> <p>50 °C</p>
Ambient temperature during storage/transportation	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• min.</li> <li>• max.</li> </ul>	<p>-40 °C</p> <p>70 °C</p>
Air pressure acc. to IEC 60068-2-13	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Operation, min.</li> <li>• Operation, max.</li> <li>• Storage/transport, min.</li> <li>• Storage/transport, max.</li> <li>• permissible operating height</li> </ul>	<p>795 hPa</p> <p>1 080 hPa</p> <p>660 hPa</p> <p>1 080 hPa</p> <p>-1000 to 2000 m</p>
Relative humidity	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Operation, max.</li> </ul>	95 %; no condensation
Vibrations	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Vibrations</li> <li>• Operation, tested according to IEC 60068-2-6</li> </ul>	<p>2 g (m/s<sup>2</sup>) wall mounting, 1 g (m/s<sup>2</sup>) DIN rail</p> <p>Yes</p>
Shock test	

- tested according to IEC 60068-2-27

Yes; IEC 68, Part 2-27 half-sine: strength of the shock 15 g (peak value), duration 11 ms

#### Pollutant concentrations

- SO2 at RH < 60% without condensation

SO2: < 0.5 ppm; H2S: < 0.1 ppm; RH < 60% condensation-free

#### Configuration

##### Programming

##### Programming language

— LAD	Yes
— FBD	Yes
— SCL	Yes

##### Know-how protection

• User program protection/password protection	Yes
• Copy protection	Yes
• Block protection	Yes

##### Access protection

• Protection level: Write protection	Yes
• Protection level: Read/write protection	Yes
• Protection level: Complete protection	Yes

##### Cycle time monitoring

• adjustable	Yes
--------------	-----

#### Dimensions

Width	90 mm
Height	100 mm
Depth	75 mm

#### Weights

Weight, approx.	425 g
-----------------	-------

**last modified:** 08/25/2017



SIMATIC S7-1200, Communication Board CB 1241, RS-485, bloque de bornes, Soporta Freeport



### Información general

Designación del tipo de producto      CB 1241 RS 485

### Intensidad de entrada

de bus de fondo 5 V DC, típ.      50 mA

### Pérdidas

Pérdidas, típ.      1,5 W

### Interfaces

#### Acoplamiento punto a punto

• Longitud del cable, máx.      1 000 m

#### Drivers de protocolo integrados

— Freeport	Sí
— ASCII	Sí; disponible como función de librería
— Modbus	Sí
— RTU maestro Modbus	Sí
— RTU esclavos Modbus	Sí
— USS	Sí; disponible como función de librería

### Protocolos

Protocolos integrados	
Freeport	
— Longitud de telegrama, máx.	1 kbyte
— Bits por carácter	7 u 8
— Número de bits de parada	1 (estándar), 2
— Paridad	Sin paridad (estándar); par, impar, marca (bit de paridad siempre a 1); espacio (bit de paridad siempre a 0)
3964 (R)	
— Longitud de telegrama, máx.	1 kbyte
— Bits por carácter	7 u 8
— Número de bits de parada	1 (estándar), 2
— Paridad	Sin paridad (estándar); par, impar, marca (bit de paridad siempre a 1); espacio (bit de paridad siempre a 0)
RTU maestro Modbus	
— Área de direcciones	1 a 49 999 (direccionamiento estándar de Modbus)
— N.º de esclavos, máx.	247; 1 a 247, máximo 32 dispositivos por cada segmento de red MODBUS, se precisan repetidores adicionales para ampliar la red a la máxima configuración
RTU esclavos Modbus	
— Área de direcciones	1 a 49 999 (direccionamiento estándar de Modbus)
Alarmas/diagnósticos/información de estado	
Funciones de diagnóstico	Sí
Grado de protección y clase de protección	
Grado de protección según EN 60529	
• IP20	Sí
Normas, homologaciones, certificados	
Marcado CE	Sí
cULus	Sí
Homologación FM	Sí
RCM (anterior C-TICK)	Sí
Homologación KC	Sí
Condiciones ambientales	
Caída libre	
• Altura de caída, máx.	0,3 m; Cinco veces, en embalaje de envío
Temperatura ambiente en servicio	
• mín.	-20 °C
• máx.	60 °C
• Posición de montaje horizontal, mín.	-20 °C
• Posición de montaje horizontal, máx.	60 °C
• Posición de montaje vertical, mín.	-20 °C
• Posición de montaje vertical, máx.	50 °C

• Cambio permitido de temperatura	5°C a 55°C, 3°C/minuto
<b>Temperatura ambiente en almacenaje/transporte</b>	
• mín.	-40 °C
• máx.	70 °C
<b>Presión atmosférica según IEC 60068-2-13</b>	
• En servicio mín.	795 hPa
• En servicio máx.	1 080 hPa
• Almacenamiento/transporte, mín.	660 hPa
• Almacenamiento/transporte, máx.	1 080 hPa
<b>Humedad relativa del aire</b>	
• Funcionamiento a 25 °C sin condensación, máx.	95 %
<b>Elementos mecánicos/material</b>	
Material de la caja (en el frente)	
• Plástico	Sí
<b>Dimensiones</b>	
Ancho	38 mm
Alto	62 mm
Profundidad	21 mm
<b>Pesos</b>	
Peso, aprox.	40 g
<b>Última modificación:</b>	22/08/2018





Figure similar

### MLFB-Ordering data

6SL3210-5BB17-5UV1

Client order no. :

Item no. :

Order no. :

Consignment no. :

Offer no. :

Project :

Remarks :

Rated data		General tech. specifications	
<b>Input</b>		<b>Power factor <math>\lambda</math></b>	0.72
Number of phases	1 AC	<b>Offset factor <math>\cos \varphi</math></b>	0.95
Line voltage	200 ... 240 V -15 % +10 %	<b>Efficiency <math>\eta</math></b>	0.98
Line frequency	47 ... 63 Hz	<b>Ambient conditions</b>	
<b>Output</b>		<b>Cooling</b>	convection cooling
Number of phases	3 AC	<b>Installation altitude</b>	1000 m (3281 ft)
Rated voltage	230 V	<b>Ambient temperature</b>	
Rated power (HO)	0.75 kW / 1.00 hp	<b>Operation</b>	-10 ... 60 °C (14 ... 140 °F)
Rated power (LO)	0.75 kW / 0.75 hp	<b>Storage</b>	-40 ... 70 °C (-40 ... 158 °F)
Rated current (HO)	4.20 A	<b>Relative humidity</b>	
Rated current (LO)	4.20 A	<b>Max. operation</b>	95 %
		<b>Communication</b>	
Pulse frequency	8 kHz	<b>Communication</b>	USS, Modbus RTU
Output frequency	0 ... 550 Hz	<b>Standards</b>	
		<b>Compliance with standards</b>	CE, cULus, C-Tick (RCM), KC
		<b>CE marking</b>	EN 61800-5-1 /EN 60204-1 and EN 61800-3

### Overload capability

#### Low Overload (LO)

110 % rated output current for 60 s, cycle time 300 s

#### High Overload (HO)

150 % rated output current for 60 s, cycle time 300 s



MLFB-Ordering data

6SL3210-5BB17-5UV1



Figure similar

### Mechanical data

Mounting position	Wall mounting / side-by-side mounting
Degree of protection	IP20
Size	FSAB
Net weight	0.90 kg ( 1.98 lb )
Width	68.0 mm ( 2.68 in )
Height	142.0 mm ( 5.59 in )
Depth	127.8 mm ( 5.03 in )

### Connections

#### Max. motor cable length

Shielded	25 m (33 ft)
Unshielded	50 m (164 ft)

### Inputs / outputs

#### Standard digital inputs

Number	4
--------	---

#### Digital outputs

Number as relay changeover contact	1
------------------------------------	---

Number as transistor	1
----------------------	---

#### Analog inputs

Number	2 (Can be used as additional digital input)
--------	---

#### Analog outputs

Number	1
--------	---

# JSN-SR04T-2.0

## 20-600 cm Ultrasonic Waterproof Range Finder

JSN-SR04T-2.0 ultrasonic distance measurement module can provide 20cm-600cm non-contact distance sensing function, ranging accuracy up to 2mm; module includes the transceiver of an integrated ultrasonic sensor and control circuit. Mode one usage and the Division's JSN-SR04T-2.0 module.

This product adopts industrial-grade integrated ultrasonic probe design, waterproof type, stable performance, all the MCU on the market. 1, the module performance is stable, the measurement distance is accurate. And foreign SRF05, SRF02 and other ultrasonic rangefinder module comparable. Module high precision, blind (20cm), stable range is the product successfully to the market a strong basis.

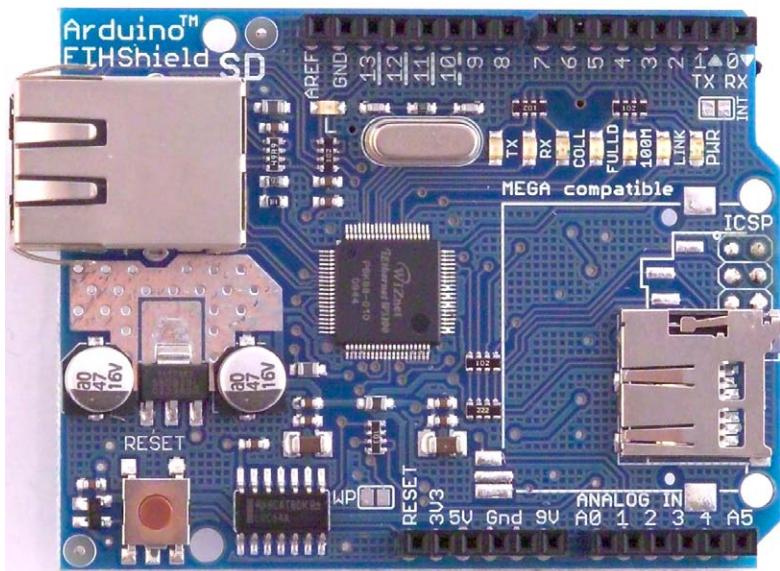
### Features:

1. small size, easy to use;
2. low voltage, low power consumption;
3. high precision measurement;
4. strong anti-interference;
5. integrated closed waterproof cable probe, suitable for wet, bad measurement occasions

### Specifications:

	Pulse width output / Serial Output
Operating Voltage	DC 3.0-5.5V
Working current	Less than 8mA
Probe frequency	40KHz
Farthest range	600cm
Recent range	20cm
Distance accuracy	+ - 1cm
Resolution	1mm
Measuring angle	75 degree
Enter the trigger signal	1, 10uS above the TTL pulse 2, the serial port to send instructions 0X55
Output the echo signal	Output pulse width level signal, or TTL
Wiring	3-5.5V (power positive) Trig (RX) RX Echo (output) TX GND (power supply negative)
Product Size	L42 * W29 * H12 mm
Operating temperature	-20 ° C to + 70 ° C
Product color	PCB board is blue

# Arduino Ethernet Shield



**Download:** [arduino-ethernet-shield-05-schematic.pdf](#), [arduino-ethernet-shield-05-reference-design.zip](#)

**Download:** [arduino-ethernet-shield-schematic.pdf](#), [arduino-ethernet-shield-reference-design.zip](#)

The Arduino Ethernet Shield allows an Arduino board to connect to the internet. It is based on the [Wiznet W5100](#) ethernet chip ([datasheet](#)). The Wiznet W5100 provides a network (IP) stack capable of both TCP and UDP. It supports up to four simultaneous socket connections. Use the [Ethernet library](#) to write sketches which connect to the internet using the shield. The ethernet shield connects to an Arduino board using long wire-wrap headers which extend through the shield. This keeps the pin layout intact and allows another shield to be stacked on top.

The latest revision of the shield adds a micro-SD card slot, which can be used to store files for serving over the network. It is compatible with the Arduino Duemilanove and Mega (using the Ethernet library coming in Arduino 0019). An SD card library is not yet included in the standard Arduino distribution, but the [sdfatlib](#) by Bill Greiman works well. See [this tutorial from Adafruit Industries](#) for instructions (thanks Limor!).

The latest revision of the shield also includes a reset controller, to ensure that the W5100 Ethernet module is properly reset on power-up. Previous revisions of the shield were not compatible with the Mega and need to be manually reset after power-up. The original revision of the shield contained a full-size SD card slot; this is not supported.

Arduino communicates with both the W5100 and SD card using the SPI bus (through the ICSP header). This is on digital pins 11, 12, and 13 on the Duemilanove and pins 50, 51, and 52 on the Mega. On both boards, pin 10 is used to select the W5100 and pin 4 for the SD card. These pins cannot be used for general i/o. On the Mega, the hardware SS pin, 53, is not used to select either the W5100 or the SD card, but it must be kept as an output or the SPI interface won't work.

Note that because the W5100 and SD card share the SPI bus, only one can be active at a time. If you are using both peripherals in your program, this should be taken care of by the corresponding libraries. If you're not using one of the peripherals in your program, however, you'll need to explicitly deselect it. To do this with the SD card, set pin 4 as an output and write a high to it. For the W5100, set digital pin 10 as a high output.

The shield provides a standard RJ45 ethernet jack.

The reset button on the shield resets both the W5100 and the Arduino board.

The shield contains a number of informational LEDs:

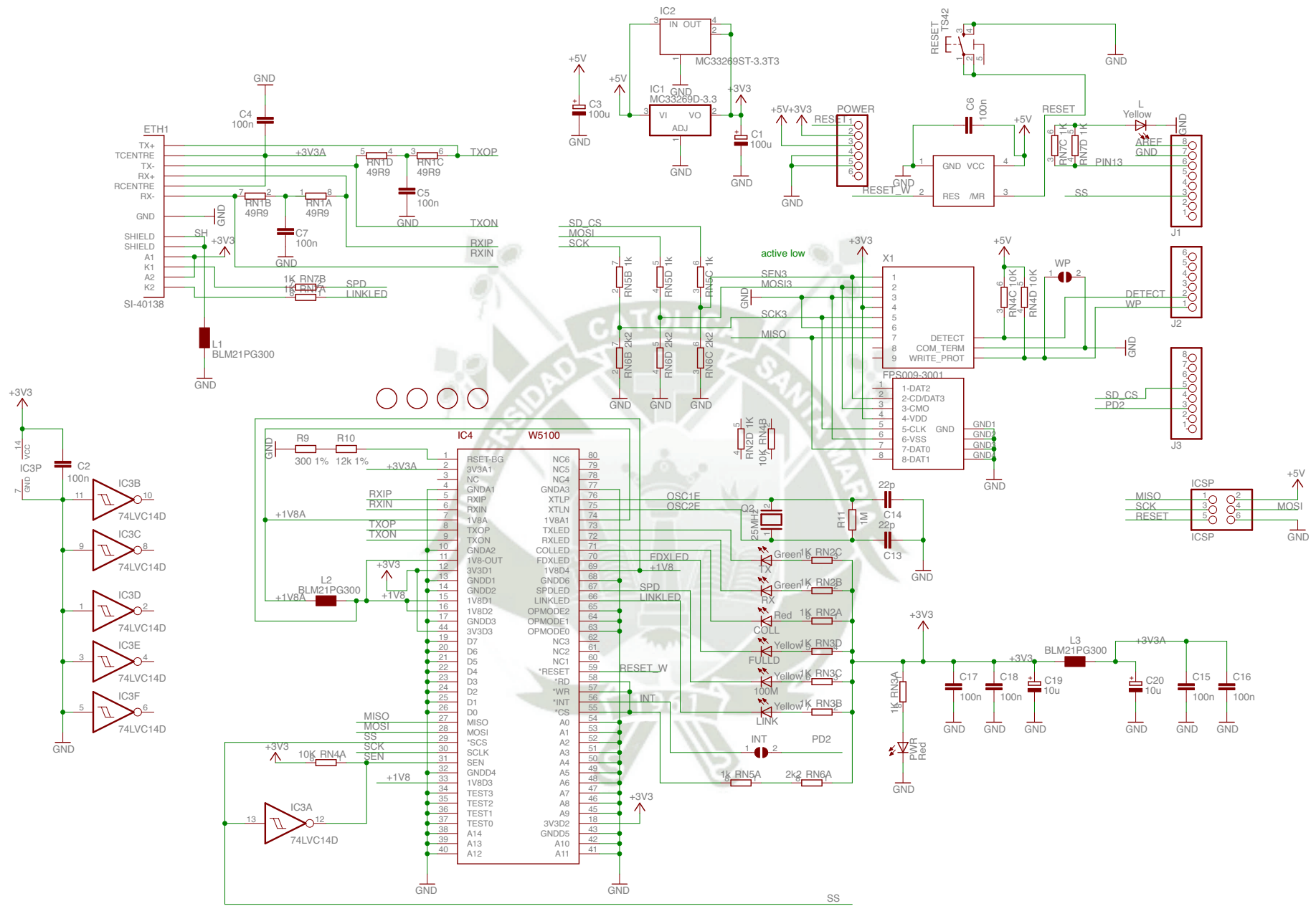
- PWR: indicates that the board and shield are powered
- LINK: indicates the presence of a network link and flashes when the shield transmits or receives data
- FULLD: indicates that the network connection is full duplex
- 100M: indicates the presence of a 100 Mb/s network connection (as opposed to 10 Mb/s)
- RX: flashes when the shield receives data
- TX: flashes when the shield sends data
- COLL: flashes when network collisions are detected

The solder jumper marked "INT" can be connected to allow the Arduino board to receive interrupt-driven notification of events from the W5100, but this is not supported by the Ethernet library. The jumper connects the INT pin of the W5100 to digital pin 2 of the Arduino.

See also: [getting started with the ethernet shield](#) and [Ethernet library reference](#)







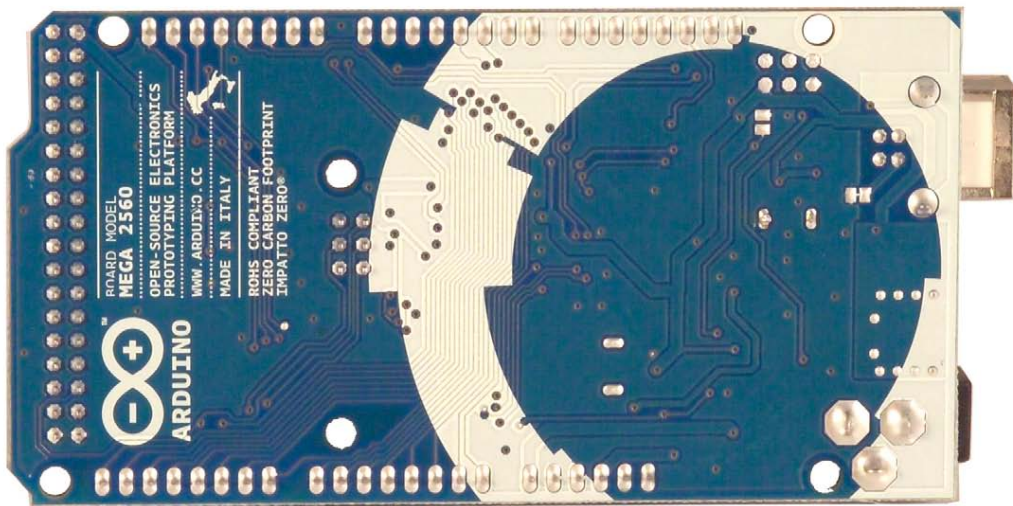
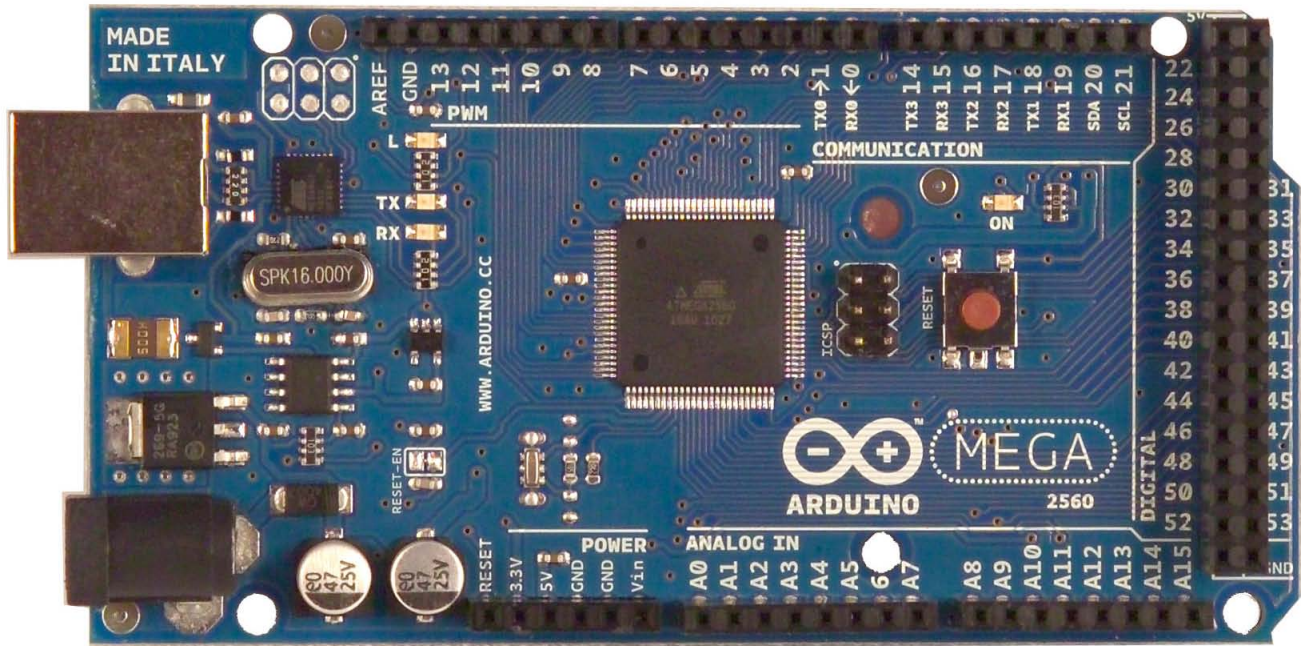
# Arduino ETHERNET - shield V5

Copyright (c) 2010 Arduino

Released under the Creative Commons Attribution-Share Alike 3.0 License

<http://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/>

# Arduino Mega 2560



The Arduino Mega 2560 is a microcontroller board based on the ATmega2560 ([datasheet](#)). It has 54 digital input/output pins (of which 14 can be used as PWM outputs), 16 analog inputs, 4 UARTs (hardware serial ports), a 16 MHz crystal oscillator, a USB connection, a power jack, an ICSP header, and a reset button. It contains everything needed to support the microcontroller; simply connect it to a computer with a USB cable or power it with a AC-to-DC adapter or battery to get started. The Mega is compatible with most shields designed for the Arduino Duemilanove or Diecimila.

## Schematic & Reference Design

EAGLE files: [arduino-mega2560-reference-design.zip](#)

Schematic: [arduino-mega2560-schematic.pdf](#)

## Summary

Microcontroller	ATmega2560
Operating Voltage	5V
Input Voltage (recommended)	7-12V
Input Voltage (limits)	6-20V
Digital I/O Pins	54 (of which 14 provide PWM output)
Analog Input Pins	16
DC Current per I/O Pin	40 mA
DC Current for 3.3V Pin	50 mA
Flash Memory	256 KB of which 8 KB used by bootloader
SRAM	8 KB
EEPROM	4 KB
Clock Speed	16 MHz

## Power

The Arduino Mega can be powered via the USB connection or with an external power supply. The power source is selected automatically.

External (non-USB) power can come either from an AC-to-DC adapter (wall-wart) or battery. The adapter can be connected by plugging a 2.1mm center-positive plug into the board's power jack. Leads from a battery can be inserted in the Gnd and Vin pin headers of the POWER connector.

The board can operate on an external supply of 6 to 20 volts. If supplied with less than 7V, however, the 5V pin may supply less than five volts and the board may be unstable. If using more than 12V, the voltage regulator may overheat and damage the board. The recommended range is 7 to 12 volts.

The Mega2560 differs from all preceding boards in that it does not use the FTDI USB-to-serial driver chip. Instead, it features the Atmega8U2 programmed as a USB-to-serial converter.

The power pins are as follows:

- + **VIN**. The input voltage to the Arduino board when it's using an external power source (as opposed to 5 volts from the USB connection or other regulated power source). You can supply voltage through this pin, or, if supplying voltage via the power jack, access it through this pin.
- + **5V**. The regulated power supply used to power the microcontroller and other components on the board. This can come either from VIN via an on-board regulator, or be supplied by USB or another regulated 5V supply.
- + **3V3**. A 3.3 volt supply generated by the on-board regulator. Maximum current draw is 50 mA.
- + **GND**. Ground pins.

## Memory

The ATmega2560 has 256 KB of flash memory for storing code (of which 8 KB is used for the bootloader), 8 KB of SRAM and 4 KB of EEPROM (which can be read and written with the [EEPROM library](#)).

## Input and Output

Each of the 54 digital pins on the Mega can be used as an input or output, using [pinMode\(\)](#), [digitalWrite\(\)](#), and [digitalRead\(\)](#) functions. They operate at 5 volts. Each pin can provide or receive a maximum of 40 mA and has an internal pull-up resistor (disconnected by default) of 20-50 kOhms. In addition, some pins have specialized functions:

- + **Serial: 0 (RX) and 1 (TX); Serial 1: 19 (RX) and 18 (TX); Serial 2: 17 (RX) and 16 (TX); Serial 3: 15 (RX) and 14 (TX)**. Used to receive (RX) and transmit (TX) TTL serial data. Pins 0 and 1 are also connected to the corresponding pins of the ATmega8U2 USB-to-TTL Serial chip.
- + **External Interrupts: 2 (interrupt 0), 3 (interrupt 1), 18 (interrupt 5), 19 (interrupt 4), 20 (interrupt 3), and 21 (interrupt 2)**. These pins can be configured to trigger an interrupt on a low value, a rising or falling edge, or a change in value. See the [attachInterrupt\(\)](#) function for details.
- + **PWM: 0 to 13**. Provide 8-bit PWM output with the [analogWrite\(\)](#) function.
- + **SPI: 50 (MISO), 51 (MOSI), 52 (SCK), 53 (SS)**. These pins support SPI communication using the [SPI library](#). The SPI pins are also broken out on the ICSP header, which is physically compatible with the Uno, Duemilanove and Diecimila.
- + **LED: 13**. There is a built-in LED connected to digital pin 13. When the pin is HIGH value, the LED is on, when the pin is LOW, it's off.
- + **I<sup>2</sup>C: 20 (SDA) and 21 (SCL)**. Support I<sup>2</sup>C (TWI) communication using the [Wire library](#) (documentation on the Wiring website). Note that these pins are not in the same location as the I<sup>2</sup>C pins on the Duemilanove or Diecimila.

The Mega2560 has 16 analog inputs, each of which provide 10 bits of resolution (i.e. 1024 different values). By default they measure from ground to 5 volts, though it is possible to change the upper end of their range using the AREF pin and [analogReference\(\)](#) function.



There are a couple of other pins on the board:

✦ **AREF**. Reference voltage for the analog inputs. Used with `analogReference()`.

✦ **Reset**. Bring this line LOW to reset the microcontroller. Typically used to add a reset button to shields which block the one on the board.

## Communication

The Arduino Mega2560 has a number of facilities for communicating with a computer, another Arduino, or other microcontrollers. The ATmega2560 provides four hardware UARTs for TTL (5V) serial communication. An ATmega8U2 on the board channels one of these over USB and provides a virtual com port to software on the computer (Windows machines will need a .inf file, but OSX and Linux machines will recognize the board as a COM port automatically. The Arduino software includes a serial monitor which allows simple textual data to be sent to and from the board. The RX and TX LEDs on the board will flash when data is being transmitted via the ATmega8U2 chip and USB connection to the computer (but not for serial communication on pins 0 and 1).

A [SoftwareSerial library](#) allows for serial communication on any of the Mega2560's digital pins.

The ATmega2560 also supports I2C (TWI) and SPI communication. The Arduino software includes a Wire library to simplify use of the I2C bus; see the [documentation on the Wiring website](#) for details. For SPI communication, use the [SPI library](#).

## Programming

The Arduino Mega can be programmed with the Arduino software ([download](#)). For details, see the [reference](#) and [tutorials](#).

The ATmega2560 on the Arduino Mega comes preburned with a [bootloader](#) that allows you to upload new code to it without the use of an external hardware programmer. It communicates using the original STK500 protocol ([reference](#), [C header files](#)).

You can also bypass the bootloader and program the microcontroller through the ICSP (In-Circuit Serial Programming) header; see [these instructions](#) for details.

The ATmega8U2 firmware source code is available [in the Arduino repository](#). The ATmega8U2 is loaded with a DFU bootloader, which can be activated by connecting the solder jumper on the back of the board (near the map of Italy) and then resetting the 8U2. You can then use [Atmel's FLIP software](#) (Windows) or the [DFU programmer](#) (Mac OS X and Linux) to load a new firmware. Or you can use the ISP header with an external programmer (overwriting the DFU bootloader). See [this user-contributed tutorial](#) for more information.

## Automatic (Software) Reset

Rather than requiring a physical press of the reset button before an upload, the Arduino Mega2560 is designed in a way that allows it to be reset by software running on a connected computer. One of the hardware flow control lines (DTR) of the ATmega8U2 is connected to the reset line of the ATmega2560 via a 100 nanofarad capacitor. When this line is asserted (taken low), the reset line drops long enough to reset the chip. The Arduino software uses this capability to allow you to upload code by simply pressing the upload button in the Arduino environment. This means that the bootloader can

have a shorter timeout, as the lowering of DTR can be well-coordinated with the start of the upload.

This setup has other implications. When the Mega2560 is connected to either a computer running Mac OS X or Linux, it resets each time a connection is made to it from software (via USB). For the following half-second or so, the bootloader is running on the Mega2560. While it is programmed to ignore malformed data (i.e. anything besides an upload of new code), it will intercept the first few bytes of data sent to the board after a connection is opened. If a sketch running on the board receives one-time configuration or other data when it first starts, make sure that the software with which it communicates waits a second after opening the connection and before sending this data.

The Mega2560 contains a trace that can be cut to disable the auto-reset. The pads on either side of the trace can be soldered together to re-enable it. It's labeled "RESET-EN". You may also be able to disable the auto-reset by connecting a 110 ohm resistor from 5V to the reset line; see [this forum thread](#) for details.

### USB Overcurrent Protection

The Arduino Mega2560 has a resettable polyfuse that protects your computer's USB ports from shorts and overcurrent. Although most computers provide their own internal protection, the fuse provides an extra layer of protection. If more than 500 mA is applied to the USB port, the fuse will automatically break the connection until the short or overload is removed.

### Physical Characteristics and Shield Compatibility

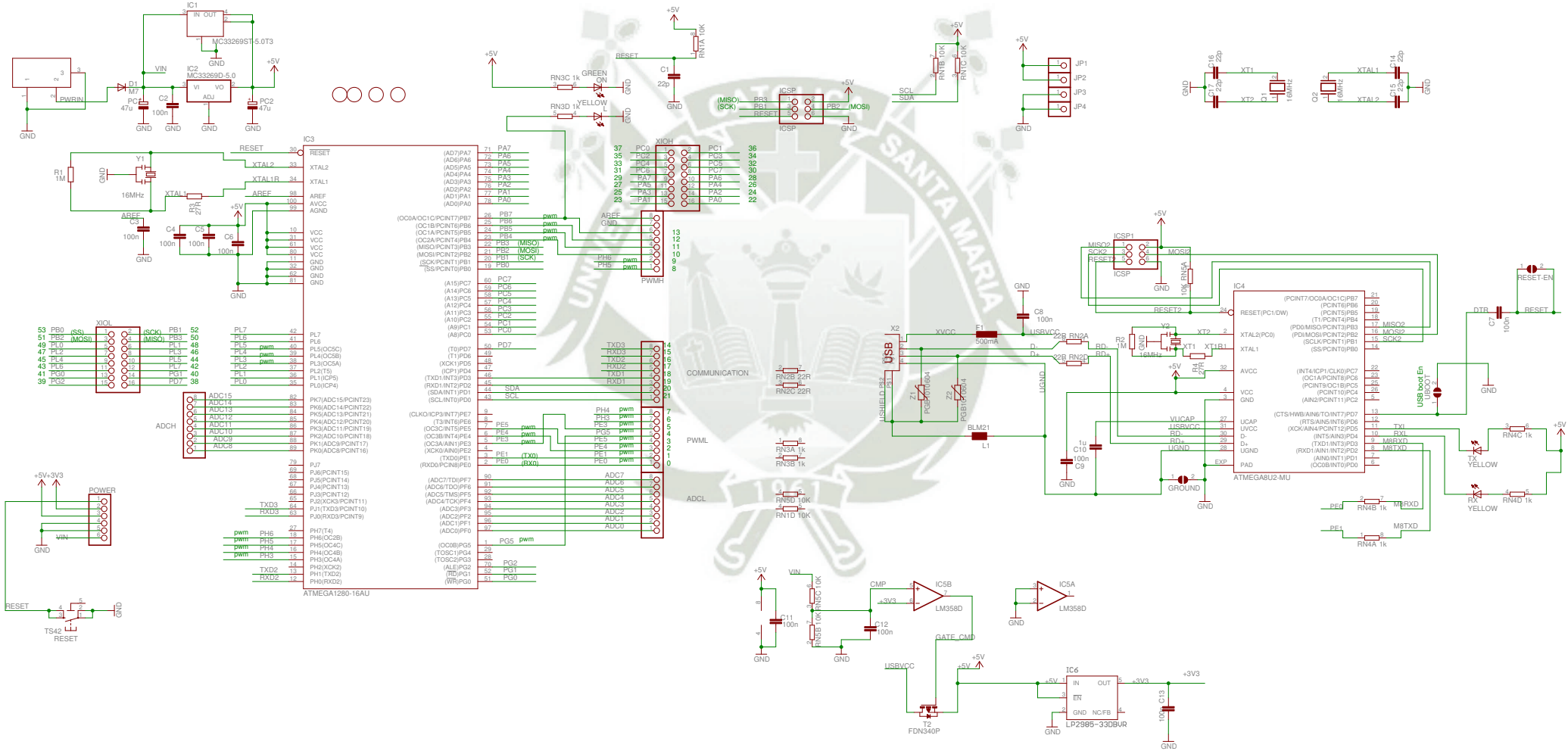
The maximum length and width of the Mega2560 PCB are 4 and 2.1 inches respectively, with the USB connector and power jack extending beyond the former dimension. Three screw holes allow the board to be attached to a surface or case. Note that the distance between digital pins 7 and 8 is 160 mil (0.16"), not an even multiple of the 100 mil spacing of the other pins.

The Mega2560 is designed to be compatible with most shields designed for the Uno, Diecimila or Duemilanove. Digital pins 0 to 13 (and the adjacent AREF and GND pins), analog inputs 0 to 5, the power header, and ICSP header are all in equivalent locations. Further the main UART (serial port) is located on the same pins (0 and 1), as are external interrupts 0 and 1 (pins 2 and 3 respectively). SPI is available through the ICSP header on both the Mega2560 and Duemilanove / Diecimila. *Please note that I<sup>2</sup>C is not located on the same pins on the Mega (20 and 21) as the Duemilanove / Diecimila (analog inputs 4 and 5).*

# Arduino™ Mega 2560 Reference Design

Reference Designs ARE PROVIDED "AS IS" AND "WITH ALL FAULTS". Arduino DISCLAIMS ALL OTHER WARRANTIES, EXPRESS OR IMPLIED, REGARDING PRODUCTS, INCLUDING BUT NOT LIMITED TO, ANY IMPLIED WARRANTIES OF MERCHANTABILITY OR FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE

Arduino may make changes to specifications and product descriptions at any time, without notice. The Customer must not rely on the absence or characteristics of any features or instructions marked "reserved" or "undefined." Arduino reserves these for future definition and shall have no responsibility whatsoever for conflicts or incompatibilities arising from future changes to them. The product information on the Web Site or Materials is subject to change without notice. Do not finalize a design with this information.



# Solenoid Valve

## 2W Brass Series 2-Way Direct Acting Solenoid Valve Normally Closed

● The Professional Solenoid Valves Manufactory

**2W** | **160** | **15** | **AC220V** | **V**

2 Way Direct Acting | Orifice | Pipe Size | Available Voltage | Blank:NBR  
V:For High Temp.

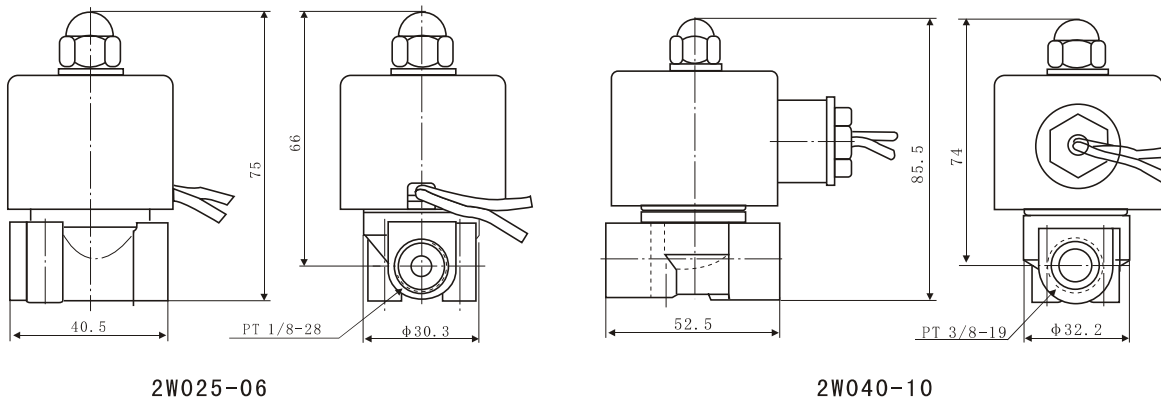
AC:110V  
AC:220V  
DC :24V  
Contact the Factory for Others



### Specifications

Model code	2W025-06	2W025-08	2W040-10	2W160-10	2W160-15	2W200-20	2W250-25	2W350-35	2W400-40	2W500-50
Symbol										
Fluid Media	Air, Water, Oil, Gas									
Operating Mode	Direct Acting									
Type	Normally Closed									
Orifice	2.5	4	16	20	25	35	40	50		
Cv Factor	0.23	0.6	4.8	7.6	12	24	29	48		
Pipe Size	1/8"	1/4"	3/8"	3/8"	1/2"	3/4"	1"	1 1/4"	1 1/2"	2"
Viscosity	Under 20CTS									
Operating Pressure	Water:0~7 Air:0~7 Oil:0~5									
Fluids Temp.	-5~80°C									
Available Voltage	± 10%									
Body Material	Brass									
Seals Material	NBR or VITON									

### Construction Dimensions Chart

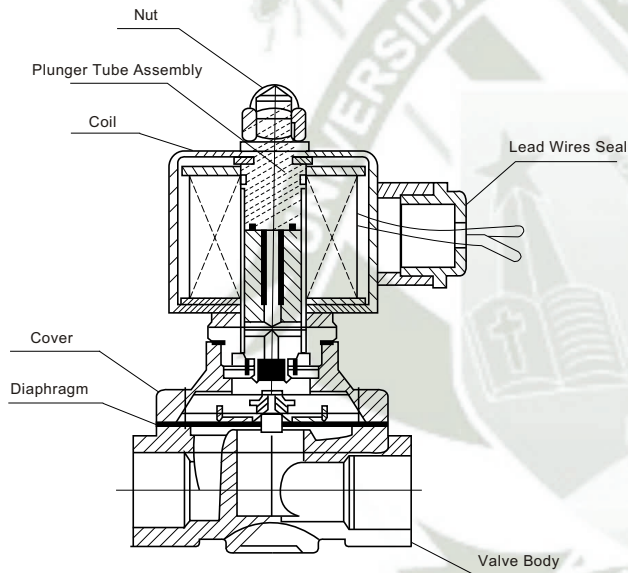
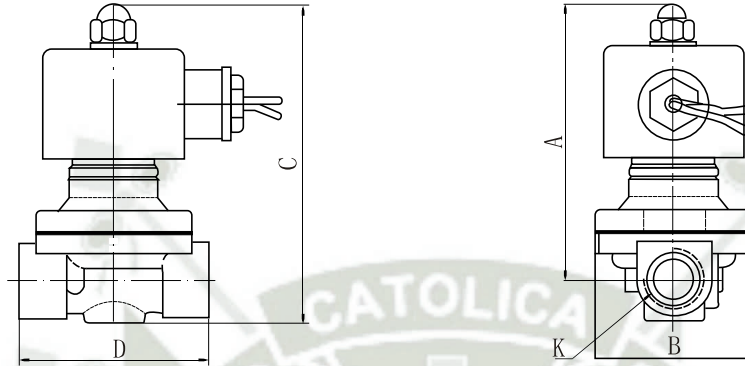




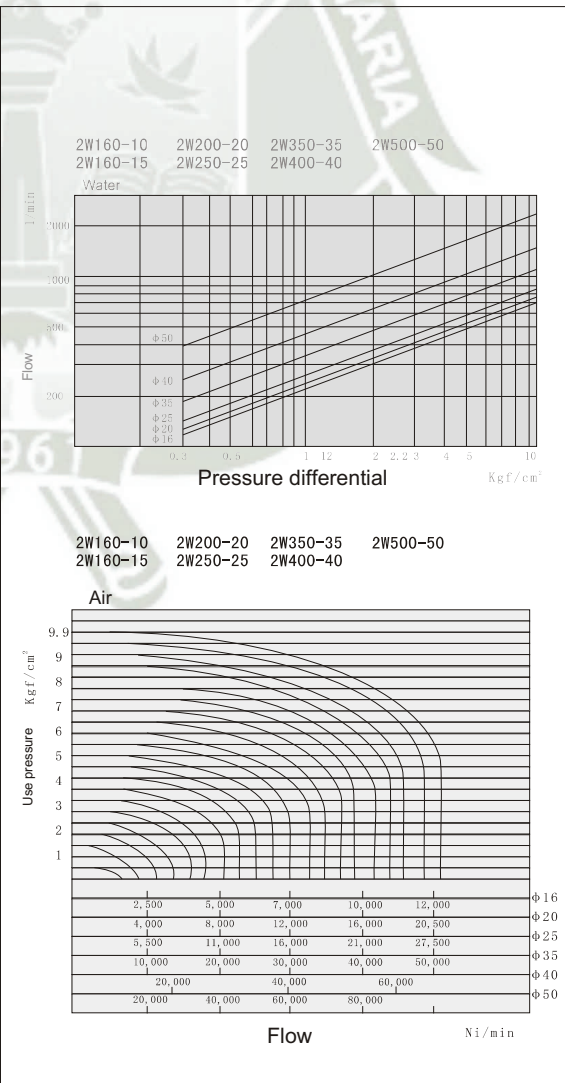
# 2W Brass Series 2-Way Direct Acting Solenoid Valve Normally Closed

●The Professional Solenoid Valves Manufactory

## Construction Dimensions Chart



## Fluid Flow Chart



## Technical Parameter

Model code	A	B	C	D	K
2W160-10	101.5	57	117	69	PT 3/8"
2W160-15	101.5	57	117	69	PT 1/2"
2W260-20	107	57	123.5	73	PT 3/4"
2W260-25	111.5	73.5	134.5	99	PT 1"
2W360-35	142	95	172	112	PT1 1/4"
2W460-40	142	95	172	123	PT1 1/2"
2W560-50	172	123	209	168	PT2"

# Solenoid Valve

## 2W Stainless Steel Series 2-Way Direct Acting Solenoid Valve Normally Closed

● The Professional Solenoid Valves Manufactory

### Technical Parameter

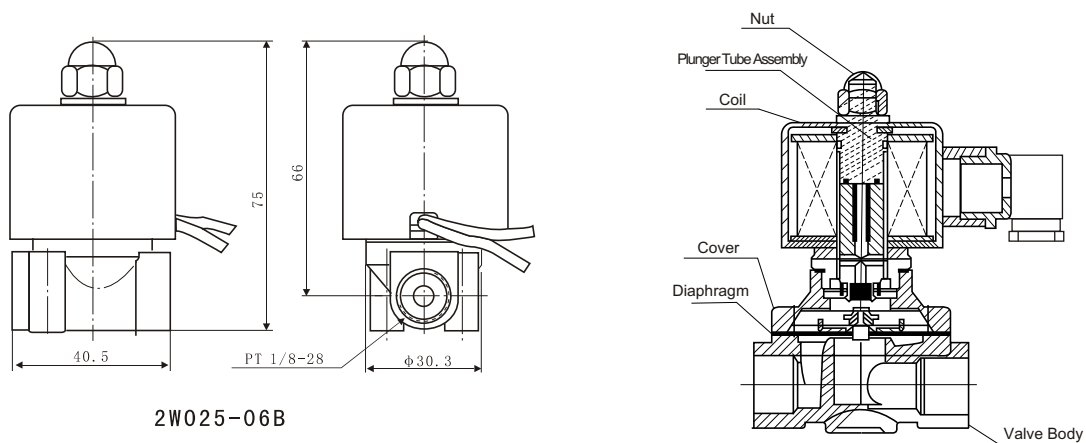
Model code	L	H	Pipe Size
2W025-06B	40.5	75	PT1/8"
2W025-08B	40.5	75	PT1/4"
2W040-10B	52.5	85.5	PT3/8"
2W160-10B	69	117	PT3/8"
2W160-15B	69	117	PT1/2"
2W200-20B	73	123.5	PT3/4"
2W250-25B	99	134.5	PT1"
2W350-35B	112	172	PT1 1/4"
2W400-40B	123	172	PT1 1/2"
2W500-50B	168	209	PT2"
2W250-25FB	135	160	Flange Connection 4 Holes
2W350-35FB	152	212	Flange Connection 4 Holes
2W400-40FB	152	215	Flange Connection 4 Holes
2W500-50FB	200	252	Flange Connection 4 Holes



### Specifications

Model code	2W025-06B	2W025-08B	2W040-10B	2W160-10B	2W160-15B	2W200-20B	2W250-25B	2W350-35B	2W400-40B	2W500-50B
Symbol										
Fluid Media	Air, Water, Oil, Gas									
Operating Mode	Direct Acting									
Type	Normally Closed									
Orifice	2.5	4	16	20	25	35	40	50		
Cv Factor	0.23	0.6	4.8	7.6	12	24	29	48		
Pipe Size	1/8"	1/4"	3/8"	3/8"	1/2"	3/4"	1"	1 1/4"	1 1/2"	2"
Viscosity	Under 20CTS									
Operating Pressure	Water:0~7 Air:0~7Oil:0~5									
Fluids Temp.	-5~80°C									
Available Voltage	± 10% AC220V 110V DC24V Contact the factory for Others									
Body Material	S.S.304 (S.S.316 Special Made)									
Seals Material	NBR or VITON									

### Construction External Dimensions Chart



2W025-06B

# 2W Brass Series 2-Way Direct Acting Solenoid Valve Normally Open

●The Professional Solenoid Valves Manufactory

## Characteristics

- Normally open, open when de-energized, Closed when energized
- Body material: forged brass
- They are capable of operating at zero differential pressure
- Available voltage:
- Voltage tolerance:



## Inapplicable Fluids

- Fluids that will turn to liquid after being heated and become solid after being cooled
- Strong corrosive fluids
- Fluids that have kinematic viscosity over 50CST

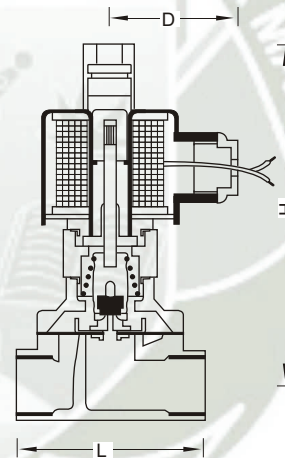
## Attention

- Make sure the pipe is clean before installing
- Pls fix a Y frame filter in front of the solenoid valve, for longer life-span

## Technical Parameter

Model Code	L	H	Pipe Size
2W025-06H	40.5	110	1/8"
2W025-08H	40.5	110	1/4"
2W040-10H	52.5	115	3/8"
2W160-10H	69	135	3/8"
2W160-15H	69	135	1/2"
2W200-20H	73	142	3/4"
2W250-25H	99	150	1"
2W350-35H	112	186	PT1 1/4"
2W400-40H	123	197	PT1 1/2"
2W500-50H	168	225	PT2"

## Construction Dimensions Chart



## Specifications

Model Code	2W025-06H	2W025-08H	2W040-10H	2W160-10H	2W160-15H	2W200-20H	2W250-25H	2W350-35H	2W400-40H	2W500-50H
Fluid Media	Air, Water, Oil, Gas									
Operating Mode	Direct Acting									
Type	Normally Open									
Orifice	2.5	4	16	20	25	35	40	50		
Cv Rating	0.23	0.6	4.8	7.6	12	24	29	48		
Pipe Size	1/8"	1/4"	3/8"	3/8"	1/2"	3/4"	1"	1 1/4"	1 1/2"	2"
Viscosity	20 CTS以下									
Operating Pressure	Water:0~7 Air:0~7 Oil:0~5									
Fluids Temp.	-5~80℃									
Available Voltage	± 10%									
Body Material	Forged Brass									
Seals Material	NBR or VITON									

# Solenoid Valve

## 2W Stainless Steel Series 2-Way Direct Acting Solenoid Valve Normally Open

● The Professional Solenoid Valves Manufactory

### Characteristics

Normally open, open when de-energized,  
closed when energized  
Body material: forged brass  
They are capable of operating at zero differential pressure  
Available voltage:  
Voltage tolerance:

### Inapplicable Fluids

Fluids that will turn to liquid after being heated and  
become solid after being cooled  
Strong corrosive fluids  
Fluids that have kinematic viscosity over 50CST

### Attention

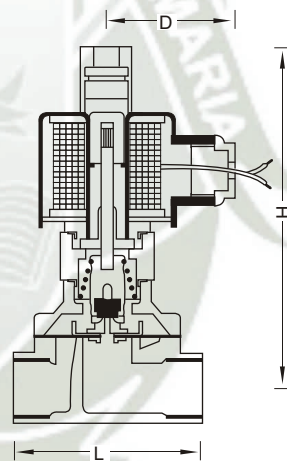
Make sure the pipe is clean before installing  
Pls fix a Y frame filter in front of the solenoid valve,  
for longer life-span



### Technical Parameter

Model Code	L mm	H mm	Pipe Size
2W025-06BH	40.5	110	1/8"
2W025-08BH	40.5	110	1/4"
2W040-10BH	52.5	115	3/8"
2W160-10BH	69	135	3/8"
2W160-15BH	69	135	1/2"
2W200-20BH	73	142	3/4"
2W250-25BH	99	150	1"
2W350-35BH	112	186	PT1 1/4"
2W400-40BH	123	197	PT1 1/2"
2W500-50BH	168	225	PT2"
2W250-25FBH	135	160	Flange Connection 4 Holes
2W350-35FBH	152	230	Flange Connection 4 Holes
2W400-40FBH	152	240	Flange Connection 4 Holes
2W500-50FBH	200	270	Flange Connection 4 Holes

### Construction Dimensions Chart



### Specifications

Model Code	2W025-06BH	2W025-08BH	2W040-10BH	2W160-10BH	2W160-15BH	2W200-20BH	2W250-25BH	2W350-35BH	2W400-40BH	2W500-50BH
Fluid Media	Air, Water, Oil, Gas									
Operating Mode	Direct Acting									
Type	Normally Open									
Office	2.5	4	16	20	25	35	40	50		
Cv Rating	0.23	0.6	4.8	7.6	12	24	29	48		
Pipe Size	1/8"	1/4"	3/8"	3/8"	1/2"	3/4"	1"	1 1/4"	1 1/2"	2"
Viscosity	Under 20CTS									
Operating Pressure	Water:0-7 Air:0-7Oil:0-5									
Fluids Temp.	-5~80°C									
Available Voltage	± 10%									
Body Material	S.S.304									
Seals Material	NBR or VITON									





CIRCUIT BREAKER 230/400V 6KA, 1-POLE,  
C, 4A, D=70MM

Similar to image

**Technical data:**

<b>Type of mounting</b>		Quick assembly system
<b>type of voltage</b>		AC/DC
<b>Height</b>	mm	90
<b>Width</b>	mm	18
<b>Depth</b>	mm	76
<b>mounting position</b>		any
<b>Mounting depth</b>	mm	70
<b>Current / for AC / rated value</b>	A	4
<b>Tripping characteristic class</b>		C
<b>Supply voltage</b>		
• for AC / rated value	V	400
• with single-phase operation / with AC / rated value	V	230
• with multi-phase operation / with AC / rated value	V	400
<b>Switching capacity current</b>		
• in accordance with IEC 60947-2 / rated value	kA	30
• with DC / in accordance with IEC 60947-2 / rated value	kA	15
• acc. to EN 60898 / rated value	kA	6
<b>Breaking capacity short-circuit current (Icn)</b>		

<ul style="list-style-type: none"> <li>• with DC / in accordance with EN 60898-2</li> </ul>	kA	10
<ul style="list-style-type: none"> <li>• with AC / in accordance with UL 1077 and CSA C22.2 No.235</li> </ul>	kA	5
<b>Active power loss / at rated value current / with AC / in warm operating state / per pole</b>	W	1.4
<b>Number of pitch units for width</b>		1
<b>Product feature / sealable</b>		Yes
<b>Degree of pollution</b>		3
<b>Ambient temperature</b>	°C	-25 ... +55
<b>Ambient temperature</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• during storage</li> </ul>	°C	-40 ... +75
<b>Position / of power supply cord</b>		Any
<b>Product property / properties for main switches in accordance with EN 60204-1</b>		Yes
<b>Mechanical operating cycles as operating time / typical</b>		20,000
<b>Overvoltage class</b>		3
<b>Product equipment / touch-protection</b>		Yes
<b>Resistance against shock / according to IEC 60068-2-27</b>		150m/s <sup>2</sup> at 11ms half-sine
<b>Insulation voltage</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• with single-phase operation / with AC / rated value</li> <li>• with multi-phase operation / with AC / rated value</li> </ul>	V	250
	V	440
<b>AWG number</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• as encoded connectable conductor cross-section</li> </ul>		14 ... 4
<b>Section de conducteur raccordable</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• solid</li> <li>• multibrin</li> <li>• finely stranded</li> <li>• with wire end processing</li> </ul>	mm <sup>2</sup>	0.75 ... 35
	mm <sup>2</sup>	0.75 ... 35
	mm <sup>2</sup>	0.75 ... 25
<b>Product component</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• combined terminal top</li> <li>• combined terminal bottom</li> </ul>		Yes
		Yes
<b>Tightening torque</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• with screw-type terminals</li> </ul>	N·m	2.5 ... 3
<b>Tightening torque (lbf·in)</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• with screw connection</li> </ul>	lbf·in	22 ... 26
<b>Product feature</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• [not supplied - silicon-free]</li> <li>• halogen-free</li> </ul>		Yes
		Yes
<b>Number of test cycles / for environmental testing / in accordance with IEC 60068-2-30</b>		6
<b>Item designation / according to DIN EN 61346-2</b>		F

## Certificates/approvals:

### General Product Approval



CCC



GOST



IMQ



KETI



UL



VDE

### Declaration of Conformity



EG-Konf.

### Shipping Approval



BUREAU  
VERITAS



DNV



GL



LRS



RINA

### other

[other](#)

## Further information:

### Information- and Downloadcenter (Catalogs, Brochures,...)

<http://www.siemens.com/lowvoltage/catalogs>

### Industry Mall (Online ordering system)

<http://www.siemens.com/lowvoltage/mall>

### Service&Support (Manuals, Certificates, Characteristics, FAQs,...)

<http://support.automation.siemens.com/WWW/view/en/5SY6104-7/all>

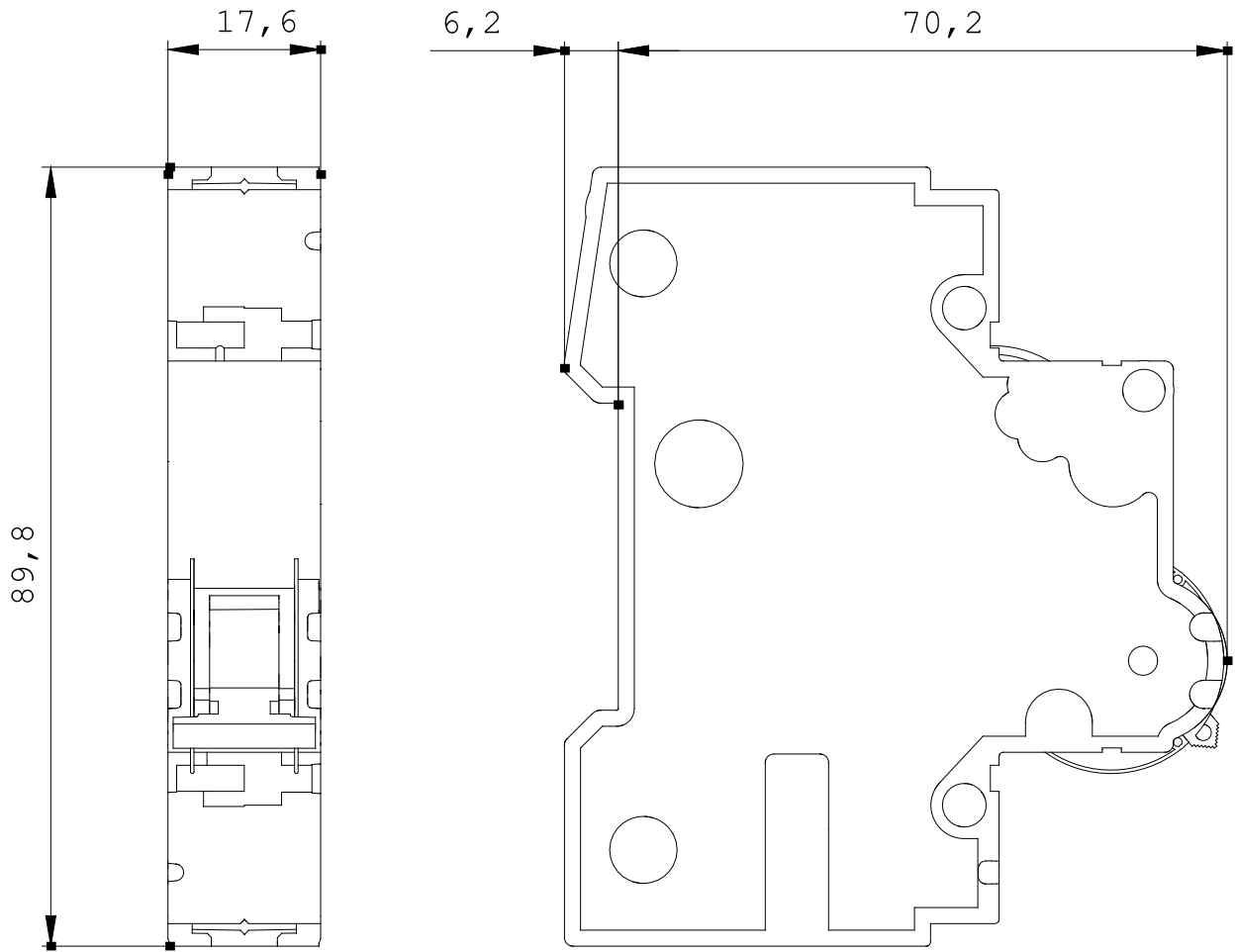
### Image database (product images, 2D dimension drawings, 3D models, device circuit diagrams, ...)

[http://www.automation.siemens.com/bilddb/cax\\_en.aspx?mlfb=5SY6104-7](http://www.automation.siemens.com/bilddb/cax_en.aspx?mlfb=5SY6104-7)

### CAX-Online-Generator

<http://www.siemens.com/cax>





last change:

Mar 4, 2013







### Principal

Gama	Easy9
Aplicación del dispositivo	Distribución
Tipo de producto o componente	Interruptor automático en miniatura
Nombre corto del dispositivo	Easy9 MCB
Poles	2P
Número de polos protegidos	2
Corriente nominal (In)	16 A
Tipo de red	CA
Tecnología de unidad de disparo	Térmico-magnético
Código de curva	C
Poder de corte	10000 A Icn en 220 V CA 50/60 Hz acorde a IEC 60898-1 6000 A Icn en 400 V CA 50/60 Hz acorde a IEC 60898-1
Apto para seccionamiento	Sí acorde a IEC 60898-1

### Complementario

Frecuencia de red	50/60 Hz
[Ue] tensión asignada de empleo	220 V CA 50/60 Hz 400 V CA 50/60 Hz
Límite de enlace magnético	5...10 x In
[Ics] poder de corte en servicio	6 kA 100 % Icn en 230 V CA 50/60 Hz acorde a IEC 60898-1
[Ui] tensión asignada de aislamiento	500 V CA 50/60 Hz acorde a IEC 60898-1
[Uimp] Tensión asignada de resistencia a los choques	4 kV acorde a IEC 60898-1
Indicador de posición del contacto	Sí
Tipo de control	Maneta
Señalizaciones en local	Sin
Tipo de montaje	Ajustable en clip
Tipo de montaje	Carril DIN
Pasos de 9 mm	4
Altura	81 mm
Anchura	36 mm
Profundidad	66,5 mm
Color	Gris - tipo de cable: RAL 7035)
Endurancia mecánica	10000 cycles
Durabilidad eléctrica	4000 cycles
Conexiones - terminales	Terminal tipo túnel - tipo de cable: arriba o abajo) 1...25 mm <sup>2</sup> rígido Terminal tipo túnel - tipo de cable: arriba o abajo) 1...16 mm <sup>2</sup> Flexible
Par de apriete	2 N.m arriba o abajo
Protección contra fugas a tierra	Sin
Segmento de mercado	Residencial

## Entorno

Normas	IEC 60898-1
Certificaciones de producto	CE
Grado de protección IP	IP20 acorde a IEC 60529
Grado de contaminación	2
Tropicalización	2
Humedad relativa	95 % en -5...60 °C
Temperatura ambiente de funcionamiento	-5...60 °C
Temperatura ambiente de almacenamiento	-40...85 °C

## Sostenibilidad de la oferta

Estado de oferta sostenible	Producto Green Premium
Reglamento REACH	<a href="#">Declaración De REACH</a>
Conforme con REACH sin SVHC	Si
Directiva RoHS UE	Conforme <a href="#">Declaración RoHS UE</a>
Sin metales pesados tóxicos	Si
Sin mercurio	Si
Información sobre exenciones de RoHS	<a href="#">Si</a>
Normativa de RoHS China	<a href="#">Declaración RoHS China</a>
Comunicación ambiental	<a href="#">Perfil Ambiental Del Producto</a>
Perfil de circularidad	No se necesitan operaciones de reciclaje específicas
RAEE	En el mercado de la Unión Europea, el producto debe desecharse de acuerdo con un sistema de recolección de residuos específico y nunca terminar en un contenedor de basura.

## Garantía contractual

Periodo de garantía	18 Meses
---------------------	----------