



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

PORTADA

IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA AUTOMATIZADO PARA EL RESERVORIO 66 DEL SISTEMA DE RIEGO CHAMBO- GUANO

ANGEL ALBERTO SILVA CONDE

Trabajo de Titulación modalidad: Proyectos de Investigación y Desarrollo, presentado ante el Instituto de Posgrado y Educación Continua de la ESPOCH, como requisito parcial para la obtención del grado de:

**MAGISTER EN SISTEMAS DE CONTROL Y AUTOMATIZACIÓN
INDUSTRIAL**

Riobamba – Ecuador

Septiembre 2016

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

CERTIFICACIÓN:

EL TRIBUNAL DEL TRABAJO DE TITULACIÓN CERTIFICA QUE:

El Trabajo de Titulación modalidad Proyectos de Investigación y Desarrollo, denominado: “IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA AUTOMATIZADO PARA EL RESERVORIO 66 DEL SISTEMA DE RIEGO CHAMBO-GUANO”, de responsabilidad del señor Angel Alberto Silva Conde, ha sido minuciosamente revisado y se autoriza su presentación.

GRANIZO PAREDES OSCAR IVÀN

PRESIDENTE

ASANZA ARMIJOS VÍCTOR MANUEL

DIRECTOR DE TESIS

VALLEJO VIZHUETE HENRY ERNESTO

MIEMBRO DEL TRIBUNAL

GAVILANES CARRION JAVIER JOSÉ

MIEMBRO DEL TRIBUNAL

DERECHOS INTELECTUALES

Yo, Angel Alberto Silva Conde soy responsable de las ideas, doctrinas y resultados expuestos en este Trabajo de Titulación y el patrimonio intelectual del mismo pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

ANGEL ALBERTO SILVA CONDE

Nº Cédula: 060396938-7

DERECHOS DE AUTENTICIDAD

Yo, Angel Alberto Silva Conde, declaro que el presente proyecto de investigación, es de mi autoría y que los resultados del mismo son auténticos y originales. Los textos constantes en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autor, asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este Trabajo de Titulación de Maestría.

ANGEL ALBERTO SILVA CONDE

N° Cédula: 060396938-7

DEDICATORIA

El presente trabajo está dedicado a mi hijo y esposa que han sido para mí la principal fuente de fortaleza y animo de superación, gracias a ellos encuentro la manera de salir adelante y alcanzar los objetivos sin dejar atrás mi proyecto de vida, Mi Adorada Familia.

AGRADECIMIENTO

Expreso mi sincero agradecimiento a la escuela superior Politécnica de Chimborazo y a los docentes profesionales que me guiaron a lo largo de mis estudios y en el transcurso de este trabajo de titulación en beneficio los usuarios del sistema de riego Chambo Guano R66 y al presidente de la junta general de riego.

Ángel

CONTENIDO

PORTADA.....	i
CERTIFICACIÓN:.....	ii
DERECHOS INTELECTUALES	iii
DERECHOS DE AUTENTICIDAD	iv
DEDICATORIA	v
AGRADECIMIENTO	vi
CONTENIDO	vii
LISTA DE TABLAS	x
LISTA DE FIGURAS.....	xi
RESUMEN	xiii
ABSTRACT.....	xiv

CAPÍTULO I

1.	INTRODUCCIÓN	1
1.1.	Planteamiento del problema	1
1.2.	Formulación del problema	1
1.3.	Sistematización del problema.....	2
1.3.1.	Socio organizativo.....	2
1.3.2.	Físico – técnicos	3
1.3.3.	Ambientales.....	3
1.3.4.	Económico- productivos	3
1.3.5.	Otros aspectos	4
1.4.	Justificación de la investigación.....	4
1.5.	Objetivos	5
1.5.1.	Objetivo general	5
1.5.2.	Objetivos específicos.....	5
1.6.	Hipótesis.....	6

CAPÍTULO II

2.	MARCO DE REFERENCIA	7
2.1.	Inversión del sector público en sistemas de riego y drenaje	7
2.2.	Inversión del sector privado en los sistemas de riego y drenaje	8
2.3.	Estado actual de los sistemas de riego a nivel nacional	9
2.4.	Tecnificación e innovación para sistemas de riego.....	9
2.4.1.	Escasos estudios	10
2.4.2.	Poca tecnología accesible a nivel local	10
2.4.3.	Ausencia de métodos de riego demostrativo.....	10
2.4.4.	Baja implementación de agro tecnología	11
2.4.5.	Falta de seguimiento a los proyectos de riego.....	11
2.5.	Métodos de riego	12
2.5.1.	Ubicación del proyecto y áreas de impacto.....	12
2.5.2.	Distribución de la inversión para la construcción de nuevos sistemas de riego	17
2.6.	Propuesta de innovación tecnológica para sistemas de riego.....	17

2.6.1.	Estudios relacionados a la tecnificación de sistemas de riego a nivel nacional	18
2.6.2.	Controlador Lógico Programable (PLC)	19
2.6.3.	Interfaz hombre maquina (HMI)	21
2.6.4.	Variador de frecuencia	22
2.6.5.	Motor trifásico	24
2.6.6.	Sensores industriales	26
2.6.6.1.	Sensores digitales	27
2.6.6.2.	Sensores analógicos.....	28
2.6.7.	Red industrial Profinet (Process Field Net).....	28
2.6.8.	Control y monitoreo por medio de la red GSM	30

CAPÍTULO III

3.	DISEÑO DE INVESTIGACIÓN	32
3.1.	Estado inicial del reservorio 66.....	32
3.2.	Control de ingreso de agua al reservorio desde la red de riego TB11	33
3.3.	Distribución de agua a las derivaciones	35
3.4.	Diseño mecánico de la compuerta.....	38
3.4.1.	Calculo de fuerzas	40
3.4.1.1.	Fuerza hidrostática en la compuerta	40
3.4.1.2.	Fuerza de fricción de la compuerta al subir	42
3.4.1.3.	Carga del para el tornillo de potencia.....	43
3.4.2.	Diseño del tornillo de potencia.....	44
3.4.2.1.	Torque necesario para subir y bajar la compuerta.....	44
3.4.2.2.	Análisis de esfuerzos del tornillo de potencia.....	46
3.4.2.3.	Factor de seguridad del tornillo.....	49
3.4.3.	Selección del motorreductor.....	51
3.4.4.	Diseño de la transmisión de cadena	52
3.4.4.1.	Potencia de funcionamiento	52
3.5.	Diseño y montaje eléctrico	53
3.5.1.	Tablero y protecciones	53
3.5.2.	Montaje del variador de frecuencia y diagrama eléctrico	54
3.5.3.	Montaje de la fuente de alimentación en corriente directa.....	55
3.5.4.	Relé programable con control de tiempo	56
3.5.5.	Montaje del plc con conexión de entradas y salidas físicas	57
3.5.6.	Montaje de elementos que componen de la red Profinet	59
3.5.7.	Montaje y puesta en marcha del módulo de comunicaciones gsm + antena 4g lte	59
3.5.8.	Informe del estado operativo del CP 1242-7.....	61
3.5.9.	Montaje del módulo de comunicación GSM y antena 4G LTE en el tablero de control.....	62
3.5.10.	Tablero de control para el ingreso de agua a la reserva	63
3.6.	Adquisición de datos de las variables a los controladores	63
3.7.	Programación del PLC S7-1200.....	65
3.8.	Configuración de la red GSM/GPRS dentro del PLC.....	67
3.9.	Programación del controlador logo V8	70
3.10.	Programación de la red industrial Profinet.....	70
3.11.	Interfaz de usuario	71
3.12.	Sistema de transferencia automática	72

CAPÍTULO IV	
4.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN..... 75
4.1.	Ejecución periódica regular de las rutinas de riego..... 75
4.2.	Ejecución periódica sujeta a variaciones climáticas en las rutinas de riego 76
4.3.	Costos de operación para reservorios poco tecnificados en función al reservorio 66..... 76
4.4.	Eficiencia del sistema..... 78
4.5.	Estandarización de procesos de riego..... 78
4.6.	Escalabilidad del sistema implementado..... 78
4.7.	Respuesta del sistema ante eventualidades 79
CONCLUSIONES 80	
RECOMENDACIONES..... 81	
BIBLIOGRAFÍA 82	
ANEXOS 84	

LISTA DE TABLAS

Tabla 1-2:	Inversión aproximada de los GADs provinciales.....	7
Tabla 2-2:	Porcentaje de la distribución de gasto en actividades de riego y drenaje.	8
Tabla 3-2:	Métodos de riego según la ubicación geográfica.	12
Tabla 4-2:	Comparación entre 2 distintas CPUs del PLC S7-1200.....	20
Tabla 5-2:	Bloques, temporizadores y contadores.....	20
Tabla 1-3:	Datos de las variables para el diseño mecánico	39
Tabla 2-3:	Coefficientes d rozamiento según la superficie	42
Tabla 3-3:	Factor de Servicio.....	52
Tabla 4-3:	Estado de los leds del módulo GSM	62
Tabla 1-4:	Costos promedio.....	77
Tabla 2-4:	Costo por día en cada tipo de reservorio (Auto-Extra)	77
Tabla 3-4:	Costo por día en cada tipo de reservorio (Auto-Diésel).....	77
Tabla 4-4:	Costo por día en cada tipo de reservorio (Motocicleta)	77

LISTA DE FIGURAS

Figura 1-2:	Bocatoma Sistema de Riego Chambo Guano. Ubicación Ceceles	13
Figura 2.2:	Canal de riego principal	13
Figura 3-2:	Bocatoma de Ceceles	14
Figura 4-2:	Inicio del canal principal con rejillas de protección	15
Figura 5-2:	Mecanismos de compuerta al ingreso del canal principal	15
Figura 6-2:	Mapa de la ubicación de los reservorios	16
Figura 7-2:	Reservorio 66 de sistema de riego Ch-G	16
Figura 8-2:	Distribución en porcentajes para inversión en nuevos sistemas de riego.17	
Figura 9-2:	Panel de Operador HMI KTP600	22
Figura 10-2:	Tablero de control con HMI	22
Figura 11-2:	Variador de Frecuencia	24
Figura 12-2:	Representación esquemática de un motor trifásico.....	25
Figura 13.2:	Circuito eléctrico de un motor trifásico.....	26
Figura 14-2:	Señales digitales en instantes t distintos	27
Figura 15-2:	Señal analógica	28
Figura 16-2:	Red industria Profinet con unidades de proceso Profibus y AS-Interface29	
Figura 17-2:	Módulo de comunicación GSM/GPRS para PLC S7-1200	30
Figura 18-2:	Comunicación del módulo CP 1242-7 a dispositivos móviles	31
Figura 1-3:	Representación CAD del reservorio 66	32
Figura 2-3:	Diseño CAD de la Válvula mariposa.....	33
Figura 3-3:	Tubería de ingreso a la reserva	34
Figura 4-3:	Válvula en estado cerrado	34
Figura 5-3:	Válvula en estado abierto	35
Figura 6-3:	Válvula de compuerta sin mecanismo para el control	35
Figura 7-3:	Válvula de compuerta con motorreductor.....	36
Figura 8-3:	Ubicación física de la compuerta	36
Figura 9-3:	Válvula de compuerta cerrada	37
Figura 10-3:	Válvula de compuerta abierta	37
Figura 11-3:	Ingreso de parámetros según la necesidad	38
Figura 12-3:	Representación gráfica de la ubicación de las variables	39
Figura 13-3:	Fuerza hidrostática distribuida en una longitud	40
Figura 14.3:	Fuerza hidrostática en la compuerta.....	40
Figura 15-3:	Propiedades Físicas de la Compuerta	43
Figura 16-3:	Catalogo motorreductores Rossi	51
Figura 17-3:	Guía para la selección de cadenas.....	53
Figura 18-3:	Tablero de control con elementos de protección eléctrica.....	54
Figura 19-3:	Tablero de control con la etapa de fuerza (Variador de Frecuencia)....	55
Figura 20-3:	Tablero con la fuente de alimentación en DC SITOP 5A.....	56
Figura 21-3:	Tablero con elementos para el control de tiempo	57
Figura 22-3:	Montaje del PLC S7 1200.....	58
Figura 23-3:	Incorporación de un PLC al tablero de control.....	58
Figura 24-3:	Dispositivos de red para el PLC y HMI.....	59
Figura 25-3:	Envío de SMS de una estación S7-1200	60

Figura 26-3:	Desmontaje de la base porta chip.....	60
Figura 27-3:	Tarjeta SIM en la base porta chip	61
Figura 28-3:	Ingreso del chip al módulo GSM.....	61
Figura 29-3:	Montaje del módulo GSM y Antena.....	62
Figura 30-3:	Tablero de control para el ingreso de agua	63
Figura 31-3:	Sensor inductivo en la válvula mariposa	64
Figura 32-3:	Sensor inductivo en la válvula de compuerta	64
Figura 33-3:	Funcionamiento del sensor para control de nivel	65
Figura 34-3:	Entorno de programación.....	65
Figura 35-3:	Segmentos de programación del PLC.....	66
Figura 36-3:	Ejemplo de programación lenguaje escalera, contactos, contadores, temporizadores y bobinas.....	67
Figura 37-3:	Modulo de comunicación GSM/GPRS CP1242-7.....	67
Figura 38-3:	Modo de operación del CP 1242-7	68
Figura 39-3:	Ajustes de modem.....	68
Figura 40-3:	Números abonados autorizados	69
Figura 41-3:	Bloques de programación para el modem.....	69
Figura 42-3:	Programa que controla la válvula mariposa.....	70
Figura 43-3:	Comunicación PLC - HMI por Profinet.....	71
Figura 44-3:	Interfaz de usuario con menú de opciones	71
Figura 45-3:	Monitoreo del estado de las válvulas	72
Figura 46-3:	Menú de control del sistema automático	72
Figura 47-3:	Tablero de transferencia automática	74

RESUMEN

En el presente proyecto de investigación como una propuesta tecnológica e innovación, se implementa un sistema automatizado para el reservorio 66 del sistema de riego Chambo Guano, provincia de Chimborazo, para controlar válvulas con mecanismo de mariposa y de compuerta para el ingreso y distribución de agua de riego de manera respetiva, en base a variables como horas de funcionamiento, control de nivel en un tanque reservorio de 18000m³ y el posicionamiento de las válvulas a partir de un sensor inductivo. Los equipos y materiales utilizados para el control y monitoreo del proceso por medio de la red GSM/GPRS están constituidos por, una antena 4G LTE y un módulo de comunicaciones CP1242-7 conectado a un PLC programado para enviar mensajes con notificaciones como el estado de las válvulas, corte y restablecimiento de la energía eléctrica, también recibe acciones de control por parte de los operarios encargados del sistema de riego de manera remota. La metodología utilizada se basa en la comparación de los costos generados en el desplazamiento hasta el reservorio y los costos producidos mediante un control por la red GSM/GPRS. Localmente existe la programación de una red industrial PROFINET entre el PLC y una pantalla HMI, en la que el usuario puede realizar el control, monitoreo y modificación de parámetros de operación, en función a condiciones climáticas o nuevos requerimientos por parte de los usuarios de la red de riego, convirtiéndose en un sistema automatizado eficiente por disminuir los costos de operación ejecutando los procesos en tiempo real y evitando el desplazamiento del personal hasta el reservorio.

Palabras Claves:

<GLOBAL SYSTEM FOR MOBILE> <GSM> <GENERAL PACKET RADIO SERVICE>
<GPRS> <PROFINET> <PROGRAMMABLE LOGIC CONTROLLER> <PLC> <HUMAN
MACHINE INTERFACE> <HMI>

ABSTRACT

The present research work as a technological proposal and innovation, implements an automated system for reservoir 66 of the system of irrigation Chambo Guano, in the province of Chimborazo, to control valves with mechanism of butterfly and gate for the income and distribution of irrigation water from repetitive manner, based on variables such as hours of operation, level control in an attack reservoir of 18000m³ and the positioning of valves from an inductive sensor. The equipment and materials used for the control and monitoring of the process by means of the GSM/GPRS network are constituted by an antenna 4G LTE and a communications module CP 1242-7 connected to a PLC programmed to send messages with notifications as the status of valves, court and restoration of electrical energy, also receives actions of control from them operators responsible of the system of irrigation of way remote. The methodology used is based on the comparison of the costs generated in the offset to the reservoir and the costs produced by a control by the GSM/GPRS network. Locally there is the programming of an industrial network PROFINET between the PLC and a screen HMI, in which the user can perform the control, monitoring and modification of parameters of operation, depending on condition climatic in new requests on the part of the users of the network of irrigation, becoming an efficient automated system by reducing the cost of operation by executing the processes in real-time and avoiding the displacement of staff up to the reservoir.

Key words:

GLOBAL SYSTEM FOR MOBILE, GSM, GENERAL PACKET RADIO SERVICE, GPRS, PROFINET, PROGRAMMABLE LOGIC CONTROLLER, PLC, HUMAN MACHINE INTERFACE, HMI

CAPÍTULO I

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Planteamiento del problema

El sistema de riego cuenta con un proceso definido, sin embargo, cuestiones climáticas y el distanciamiento del reservorio imposibilitan muchas veces que este protocolo empírico de manejo del reservorio para la apertura y cierre de manera manual diariamente se cumpla por parte de los operadores de estos procesos.

Estos particulares ocasionan el desbordamiento permanente de agua que afecta a las parcelas y a los habitantes aledaños al reservorio, causando pérdidas en los cultivos debido a la inexistencia de un control técnico para regular el ingreso de agua a la reserva.

Para la automatización del sistema de riego y específicamente el caso del reservorio 66 perteneciente a la red Chambo-Guano se cuenta con una red eléctrica de cableado a 110Vac, siendo este voltaje insuficiente para alimentar equipos y actuadores cuyo valor nominal es de 220V.

Otro de los inconvenientes es la frecuencia de cortes de energía eléctrica por ser lugares apartados y propensos a la caída de rayos, produciendo fallas en la entrada del suministro eléctrico.

El sistema de riego al tratarse de un proceso de primera necesidad para la distribución de agua en el sector agrícola de la zona, requiere de la operación segura de estos sistemas debido a que se trata de un elemento vital y valioso. Sin embargo, a pesar de todas las medidas de precaución que se tomen, siempre existe la posibilidad de pérdidas de agua por diversos factores, tales como rajaduras en la pared de la tubería, defecto en las juntas, corrosión, desgaste, entre otras. (Castro Burgos & Valdéz González, 2009).

1.2. Formulación del problema

Cuáles son los factores que tienen alta incidencia dentro del proceso de riego?

Los problemas que afectan al normal desenvolvimiento y desarrollo para la innovación tecnológica del sistema de riego son de carácter socio organizativo, físico técnico, ambiental, económico productivos, entre otros aspectos.

De qué manera puede aportar la automatización a los sistemas de riego?.

La automatización en primera instancia reduce tiempos de operación, respuestas inmediatas a las necesidades de los usuarios y el conocimiento de los estados de funcionamiento del proceso por medio de notificaciones de manera personalizada y en tiempo real.

Los costos de mantenimiento para los sistemas de riego son los adecuados?.

Los costos generados en el transporte y mantenimiento de los sistemas de riego se los considera elevados en función al personal necesario para su operación y el transporte en función a un sistema autónomo con características para el telecontrol de los mismos.

1.3. Sistematización del problema

Para lograr sistematizar el problema dentro del sistema de riego se puede partir de la problemática general que está estrechamente relacionada con la gestión dentro de los mismos, de tal manera que se ha logrado determinar o sectorizar los problemas como Socio Organizativos, Físico Técnicos, Ambientales y Económico Productivos. (Subsecretaría de Riego y Drenaje, 2016)

En base a la experiencia específica con el Reservorio 66 del sistema de riego Chambo Guano también se ha identificado problemas para la coordinación y logística en situaciones como falta de agua a los usuarios o el corte oportuno del suministro hídrico para evitar su desperdicio siendo necesario el control a distancia y en tiempo real para el manejo adecuado de las variables físicas presentes en el reservorio.

Los problemas que se han podido identificar dentro de algunos aspectos importantes son:

1.3.1. *Socio organizativo*

- Debilidades organizativas para la gestión integral del riego para la administración, operación y mantenimiento.

- Inexistencia o falta de actualización de herramientas de gestión.
- Bajo nivel de recaudación
- Conflictos o eventualidades dentro o entre otros sistemas de riego
- Falta de legalización de los derechos del agua, principalmente en la región costa

1.3.2. Físico – técnicos

- Deterioro de la infraestructura por cumplimiento de la vida útil o falta de mantenimiento en general
- Limitada infraestructura de drenaje en las zonas costeras y amazónica
- Falta de obras de almacenamiento y regulación del caudal en función a la demanda actual y futura
- Falta de tecnificación e innovación tecnológica en los sistemas de riego tomando en cuenta las necesidades reales usuarios.

1.3.3. Ambientales

- Perdida de Caudales por el manejo inadecuado o por desperdicio del agua de regadío.
- Falta de protección de las fuentes de agua
- Contaminación del agua en las etapas de conducción por canales por pendiente, en el almacenamiento y la distribución.
- Avance de la frontera agrícola
- Deterioro de suelos por la aplicación del riego.

1.3.4. Económico- productivos

- Inversión pública limitada para la gestión, innovación tecnológica y mantenimiento de los sistemas de riego
- Falta de coordinación entre entidades responsables del riego para facilitar el ingreso a sectores interesados en el estudio para el mejoramiento del servicio de regadío y aumento de la producción.

1.3.5. Otros aspectos

- Conocimientos insuficientes en diferentes ámbitos relacionados al riego y drenaje en todo el país.
- Falta de capacidades operativas y logísticas de la entidades del sector para el acompañamiento y la asistencia técnica oportuna y adecuada a los usuarios. (Subsecretaría de Riego y Drenaje, 2016)

1.4. Justificación de la investigación

El plan nacional del buen vivir especifica la inversión directa para planificar, construir, operar y mantener sistemas de riego por intermedio de los GAD (Gobierno Autónomo Descentralizado) para gasto corriente, administración, operación, mantenimiento y proyectos de inversión para el desarrollo agrario de las comunidades. (Semplades, 2013).

En la provincia de Chimborazo es urgente contar con un sistema que permita distribuir de manera eficiente y equitativa el agua para propósitos de riego fortaleciendo la agricultura familiar campesina y la diversificación de la producción agrícola articulada en la economía popular y solidaria poniendo al alcance de los usuarios la tecnología adecuada para facilitar las tareas diarias optimizando el recurso humano. (Semplades, 2013).

La instalación y puesta en marcha del tablero para control y monitores del Reservorio 66 del sistema de Riego Chambo Guano tiene amplia justificación en base al Objetivo 3 del Plan Nacional para el Buen Vivir (2013-2017), el cual menciona, “Mejorar la calidad de vida de la población”. Los agricultores pertenecientes a la red que abastece dicho reservorio serán beneficiados con agua de riego en las horas justas con cantidades suficientes para la actividad y reduciendo el desperdicio de agua al tener tiempos de ejecución mucho menores.

El control del sistema de manera remota se la podrá realizar en cualquier momento con la responsabilidad del encargado de gestionar el recurso hídrico por medio de mensajería de texto utilizando la red GSM/GPRS reduciendo así los costos de traslado hasta el lugar y evitando molestias las personas encargadas en horas que no corresponden al su trabajo.

El inconveniente de la falta de energía eléctrica por diversas razones deja al sistema fuera de servicio y por ende incapaz de tomar alguna acción de apertura o cierre a horas determinadas en

función a la programación, por lo cual el sistema debe dar una notificación de aquello a los encargados de la supervisión. El tablero de control al poseer un terminal GSM está en la capacidad de entregar un mensaje de texto al operario para que en ese caso de emergencia acuda al reservorio y de manera manual ajuste las condiciones físicas de las válvulas evitando la falta del recurso acuífero a los beneficiarios del sistema de riego o a su vez el desperdicio del líquido vital.

1.5. Objetivos

1.5.1. *Objetivo general*

Implementar un sistema automatizado para el reservorio 66 del sistema de riego CHAMBOGUANO

1.5.2. *Objetivos específicos*

- Diseñar y construir un tablero de control para el ingreso de agua a la reserva con un módulo lógico LOGO 8, para la apertura y cierre de la válvula mariposa.
- Diseñar y construir un tablero de control para la distribución de agua a los usuarios del sistema de riego con un Controlador Lógico Programable (PLC) y una Interfaz Humano Maquina (HMI) para la apertura y cierre de la válvula de compuerta.
- Adquirir los datos del nivel de agua en el tanque de reserva con la ayuda de instrumentación industrial para evitar pérdidas de agua en el sistema de riego.
- Programar los controladores de los tableros de ingreso y distribución de agua con la ayuda del software TIA Portal V13 y LOGO!Soft Comfort V8.0 para ejecutar las rutinas de funcionamiento.
- Diseñar y construir los acoples mecánicos para las válvulas de mariposa y de compuerta con motorreductores de la potencia adecuada para vencer el torque necesario.
- Establecer la comunicación entre los encargados del sistema de riego y el tablero de control por medio de mensajería de texto para el envío y recepción de notificaciones por medio de la red GSM/GPRS.
- Establecer la comunicación entre el PLC y la pantalla HMI por medio de una red industrial Profinet para que el operador pueda realizar lecturas *in situ* del estado actual del reservorio y pueda modificar los parámetros de funcionamiento.

1.6. Hipótesis

Con la automatización del sistema de riego se aporta al mejoramiento de la calidad de vida de las personas del sector, ahorrando recursos humanos y económicos incrementando la eficiencia del sistema para un adecuado riego de los cultivos.

El envío de órdenes desde un teléfono celular por medio de mensajería de texto ayuda a facilitar el control sin la necesidad de la presencia in situ de los operarios.

La construcción de un backup de energía eléctrica para la notificación de corte en la red provee de alimentación a equipos específicos hasta lograr el envío del mensaje de texto como una alarma de alerta.

Los acoples mecánicos permiten la utilización de varios tipos de motorreductores dejando a un lado la necesidad por los motorreductores del sistema mecánico original.

La adquisición de datos del nivel en el reservorio reduce las pérdidas por medio de la regulación automática al ingreso de agua según la programación de los controladores.

CAPÍTULO II

2. MARCO DE REFERENCIA

2.1. Inversión del sector público en sistemas de riego y drenaje

Los sistemas de riego en el Ecuador son de fundamental importancia por ser un país que tiene gran dedicación a la actividad agrícola en la que las redes de riego han sido controladas de manera manual desde hace mucho tiempo, convirtiéndolo en un proceso que se realiza en tiempos inexactos lo cual perjudica la actividad agrícola. En esta nueva etapa de cambio de la matriz productiva se califica como prioritario al Plan Nacional de Riego y Drenaje 2011-2026 (PNRD), según el Reglamento de la Ley de Presupuestos del sector público. (Subsecretaría de Riego y Drenaje, 2016).

A nivel nacional la inversión aproximada de los GADs provinciales destinada para actividades de riego y drenaje que se utilizan en rehabilitación/mejoramiento es del 40.6%, seguido del 20% en inversión para la implementación de nueva tecnología. (Instituto Nacional de Estadística y Censo, 2016).

Tabla 1-2: Inversión aproximada de los GADs provinciales.

A nivel Nacional	
Actividades de riego y drenaje	Porcentaje
Rehabilitación/Mejoramiento de sistemas de riego	40.6%
Implementación de nueva tecnología	20.0%
Investigación y desarrollo	17.1%
Nuevos sistemas de riego	15.1%
Operación y mantenimiento de sistemas de riego	5.4%
Capacitación en fortalecimiento de capacidades técnicas y administrativas (Dirigidas a usuarios de los sistemas de riego)	0.8%
Capacitación en operación y mantenimiento de sistemas de riego	1.0%

Fuente: (Instituto Nacional de Estadística y Censo, 2016)

En la provincia de Chimborazo según el Censo de Información Ambiental Económica en Gobiernos Autónomos Descentralizados Provinciales 2013 INEC se determina que el porcentaje de la distribución de gasto en actividades de riego y drenaje es relativamente bajo para lo cual es importante impulsar proyectos para nuevos sistemas de riego, implementación de nueva tecnología, investigación y desarrollo. (Instituto Nacional de Estadística y Censo, 2016)

Tabla 2-2: Porcentaje de la distribución de gasto en actividades de riego y drenaje.

Provincia de Chimborazo	
Actividades de riego y drenaje	Porcentaje
Rehabilitación/Mejoramiento de sistemas de riego	74.4%
Implementación de nueva tecnología	0.0%
Investigación y desarrollo	0.0%
Nuevos sistemas de riego	25.2%
Operación y mantenimiento de sistemas de riego	0.0%
Capacitación en fortalecimiento de capacidades técnicas y administrativas (Dirigidas a usuarios de los sistemas de riego)	0.3%
Capacitación en operación y mantenimiento de sistemas de riego	0.1%

Fuente: (Instituto Nacional de Estadística y Censo, 2016)

La automatización es la utilización de sistemas mecánicos electrónicos e informáticos que resuelven una actividad que se realiza repetitivamente disminuyendo la intervención de operarios o supervisores dentro de procesos de varios tipos. La utilización de los sistemas automatizados en los sistemas de riego es una técnica que en la actualidad en el Ecuador no se la utiliza por lo que pueden brindar solución a varios de los inconvenientes presentes en las redes de riego para aportar con la optimización de los recursos humanos e hídricos del país en función al nuevo rumbo que está tomando la lucha contra el cambio climático.

La mayor parte de los gobiernos provinciales asumen como una prioridad las actividades de riego mientras que por otro lado está la gestión que se debe realizar entre algunas entidades públicas como la Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo (SEMPLEDES) y la Subsecretaría de Riego y Drenaje del Ministerio de Agricultura Ganadería y Pesca (MAGAP) que en conjunto deben realizar la gestión de órgano regular para la implementación de proyecto a nivel local dentro de los cuales se contempla que los representantes de los organismo de regantes deberán presentar la propuesta para que dichas entidades públicas analicen la viabilidad de la propuesta y hacer constar el valor en el presupuesto general del estado para la posible asignación.

2.2. Inversión del sector privado en los sistemas de riego y drenaje

El componente privado que aporta al desarrollo local de una parte de los sistemas de riego son las organizaciones sociales debidamente constituidas que realizan autogestión generando recursos de

alguna manera limitados, solventando necesidades mínimas a corto o mediano plazo en proyectos de desarrollo.

La mano de obra no calificada de miembros de las comunidades aporta significativamente dentro de obras de infraestructura con un porcentaje del 10 al 40% del rubro total, mientras que en proyectos de ámbito tecnológico e innovación, y específicamente en la automatización de los sistemas de riego el aporte de la comunidad es prácticamente nulo.

Otra de las posibilidades de inversión que se puede catalogar dentro el gasto privado es el sector estudiantil que por medio de acuerdos o compromisos de vinculación con la colectividad puede destinar recursos económicos para el desarrollo y tecnificación del sistema de riego y además por medio de estudiantes de pre y posgrado capaces de generar nuevas alternativas adecuadas para el manejo del recurso hídrico en función a las necesidades específicas de los usuarios del sistema de riego contemplando la cantidad de variables que se puedan presentar en el transcurso del proyecto.

2.3. Estado actual de los sistemas de riego a nivel nacional

Los estudios realizados hasta la actualidad a nivel nacional en cuanto a la implementación de nueva tecnología para riego y drenaje es relativamente baja tomando en cuenta que estos procesos son repetitivos y tienen una frecuencia uso alta por parte de los encargados de su correcto funcionamiento.

La tecnificación e implementación posteriores a un estudio de ingeniería que satisfaga los requerimientos especiales y muy específicos de los directivos de la Junta General de Usuarios de Riego Chambo – Guano se llegó a determinar la necesidad de la implementación de un sistema automatizado capaz realizar tareas repetitivas en función a variables presentes en cada reservorio como son el nivel y horarios de distribución del agua de riego.

2.4. Tecnificación e innovación para sistemas de riego.

Antes de realizar el estudio y desarrollo ingenieril que dará solución a muchos inconvenientes de organización y logística para la movilización de personal hasta las reservas de agua es muy importante analizar los problemas por los cuales no se impulsa o no se logra una correcta tecnificación del riego en el país. (Subsecretaría de Riego y Drenaje, 2016)

2.4.1. Escasos estudios

Las personas que operan los procesos de riego en el país por lo general son mano de obra no calificada que va tomando experiencia con el pasar de los años y no tiene como prioridad o carecen de la visión para automatizar procesos que a corto plazo tendrá un beneficio directo para la entidad pública o privada que lo administra, con algunas excepciones dentro del personal administrativo.

2.4.2. Poca tecnología accesible a nivel local

En tiempos pasados la tecnología que se ofertaba a nivel local era escasa lo que provocaba la falta de ideas sobre cómo lograr desarrollar un mecanismo, un bien o servicio que pueda mejorar la calidad de vida de las personas, pero en la actualidad la tecnología está al alcance todos constituyéndose en una herramienta de desarrollo en primera instancia profesional y posteriormente aplicar el conocimiento en soluciones prácticas e innovadoras apoyadas en los lineamientos del cambio de la matriz productiva que de alguna manera incentiva a descubrir nuevas estrategias para aportar al desarrollo local y nacional.

2.4.3. Ausencia de métodos de riego demostrativo

En muchas de las ocasiones las problemáticas antes expuestas desembocan en una inseguridad total de parte del personal administrativo de los sistemas de riego para impulsar proyectos de innovación dentro de los mismos, por esta razón una de las formas para demostrar que los estudios realizados sobre la automatización del riego es factible, es plantear un método demostrativo por medio la presentación de un modelo o réplica del sistema a escala además de la demostración del software piloto a operar dentro de la implementación con el objetivo de analizar la posibilidad de su implementación en función a los beneficios o alcances del proyecto.

Para la implementación del sistema automatizado en el reservorio 66 del sistema de riego Chamo Guano dentro de la provincia de Chimborazo fue necesaria la presentación del prototipo ante el directorio de la Junta General de Riego, la cual expreso su gran interés por la implementación luego de palpar los alcances del proyecto y el ahorro significativo que se logra. Fue de esta manera

como se dio un paso muy importante para la ejecución de una propuesta solida fundamentada en una base investigativa.

2.4.4. *Baja implementación de agro tecnología*

Un sistema de riego autónomo aporta significativamente al desarrollo agrícola y aumenta la productividad, entonces se podría fácilmente formalizar el termino Agro-Tecnología como la búsqueda de Tecnologías de la Información y Comunicación (TICs) como un medio para lograr una mayor eficiencia en los procesos agrícolas poniendo al alcance de los usuarios las herramientas tecnológicas para supervisar y controlar los procesos sin la necesidad del consumo de otros recursos actualmente innecesarios como es el caso del desplazamiento de personal hasta el sitio de la reserva de agua por medio del control a distancia y de una manera más específica por medio de la red GSM.

2.4.5. *Falta de seguimiento a los proyectos de riego.*

En la red d riego Chambo – Guano dentro de cada uno de los reservorios que lo constituye, desde hace algunos años existen equipos instalados que brindaban una solución a la demanda actual y consta de un tablero de control que procesaba los datos del nivel y de manera automática cierra la válvula de ingreso de agua, lo cual era de mucha utilidad pero carece de un control para la distribución. Los equipos fueron instalados y funcionaban correctamente hasta hace algunos años y por la falta de seguimiento a los mismos por medio de un programa de mantenimiento general se fueron deteriorando tanto la parte mecánica y la eléctrica, la necesidad actual es dar una solución a estos problemas que al tratarse de varios reservorios se presentan de manera múltiple.

Los equipos son sistemas cerrados en los cuales no se puede hacer reparaciones ni adaptaciones para soluciones temporales y en vista de aquello la solución es implementar otro nuevo sistema con elementos individuales presentes en el mercado local con la facilidad de poderlos cambiar en caso de alguna avería y además brinden soporte a las nuevas necesidades en función a la demanda local.

Otro aspecto de diseño del sistema autónomo es la escalabilidad y flexibilidad al cambio parcial en las funciones a realizar en un futuro, de tal manera que se pueda realizar adecuaciones mínimas con un bajo costo en una ligera repotenciación.

Entonces desde el punto de vista del seguimiento que necesitan todos los sistemas automáticos se los deberá hacer de manera periódica en programaciones de mantenimiento total o parcial dependiendo de las frecuencias de uso, desde los elementos mecánicos, eléctricos y de control.

2.5. Métodos de riego

El método de riego en las diferentes zonas del país está clasificado en riego por gravedad y presurizado dependiendo de la ubicación geográfica de la red, en la región sierra se tiene actualmente 362.254 hectáreas con un 84.23% de riego por gravedad y apenas un 12.56% de riego presurizado. En la región Litoral con una superficie de 486.707 hectáreas con un 28.1% de riego por gravedad y el 21.4% de riego a presión y el resto del país con el 50% por gravedad y un 22.07% a presión con una superficie de 848.941 hectáreas.

Según los porcentajes por el método de riego es importante tener en cuenta cual es el tipo de control a realizar. En la región sierra la conducción del agua de riego se la realiza por canales desde la captación hasta cada una de las reservas y el sistema mecánico que controla el paso del agua a cada derivación es una compuerta con sellos en los bordes para evitar fugas, mientras que el ingreso a cada reserva se controla por medio de una válvula mariposa.

Tabla 3-2: Métodos de riego según la ubicación geográfica.

Zona	Superficie de riego	Riego por gravedad	Riego presurizado
Sierra	362.254 hectáreas	84.23 %	12.56 %
Litoral	486.707 hectáreas	28.1 %	21.4 %
Nacional	848.961 hectáreas	50.83 %	22.07 %

Fuente: Plan Nacional de Riego y Drenaje 2011 – 2026

2.5.1. Ubicación del proyecto y áreas de impacto

El sistema de riego es un proyecto emblemático de la provincia de Chimborazo inicia en la Bocatoma de Ceceles a partir de Rio Chambo y finaliza en varias localidades de la provincia, la bocatoma tiene algunas bifurcaciones que sirven para mantenimiento en el canal y principalmente para dividir el caudal del rio evitando que se dañen los dispositivos actuadores que controlan las compuertas (Figura 1-2)



Figura 1-2: Bocatoma Sistema de Riego Chambo Guano. Ubicación Ceceles
Fuente: SILVA CONDE, Angel Alberto, 2016

Una de las ramificaciones es precisamente el canal de riego principal (Figura 2-2) dentro del cual se encuentra el reservorio 66, al cual llega el agua por medio de una tubería que se extiende desde otro punto de ramificaciones o de distribución como es la Bocatoma TB11, en esta bocatoma se genera la conducción hasta la tubería posterior a un sistema mecánico de alivio de la presión generada por el represamiento del agua en la bocatoma para que el flujo sea el adecuado y suficiente para llegar a cada uno de los reservorios de la red de riego. (JURECHG, 2016).

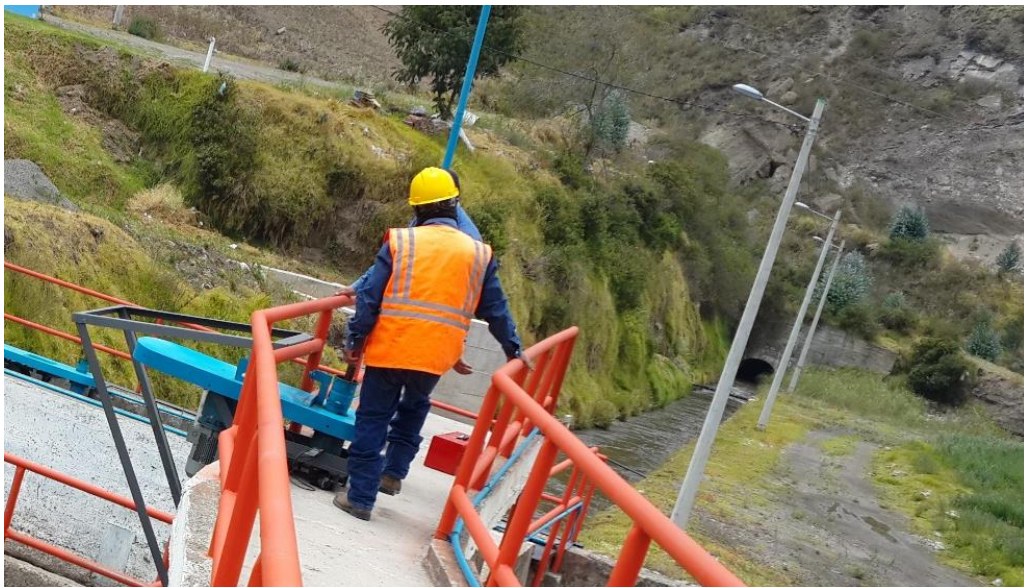


Figura 2.2: Canal de riego principal
Fuente: SILVA CONDE, Angel Alberto, 2016

El represamiento en el río Chambo se lo realiza por medio de una terraza de primer nivel que mantiene el agua en una sección para realizar una distribución con un mejor control a menor

caudal por medio de una compuerta. Además posee otras dos derivaciones de gran importancia, una de ellas es la central que tiene un área considerable y la última esta junto a las rejillas (Figura 4-2) que detienen la basura que proviene del río y cumple con la tarea de aliviar la presión que se acumula a la entrada del canal principal de riego (Figura 3-2).

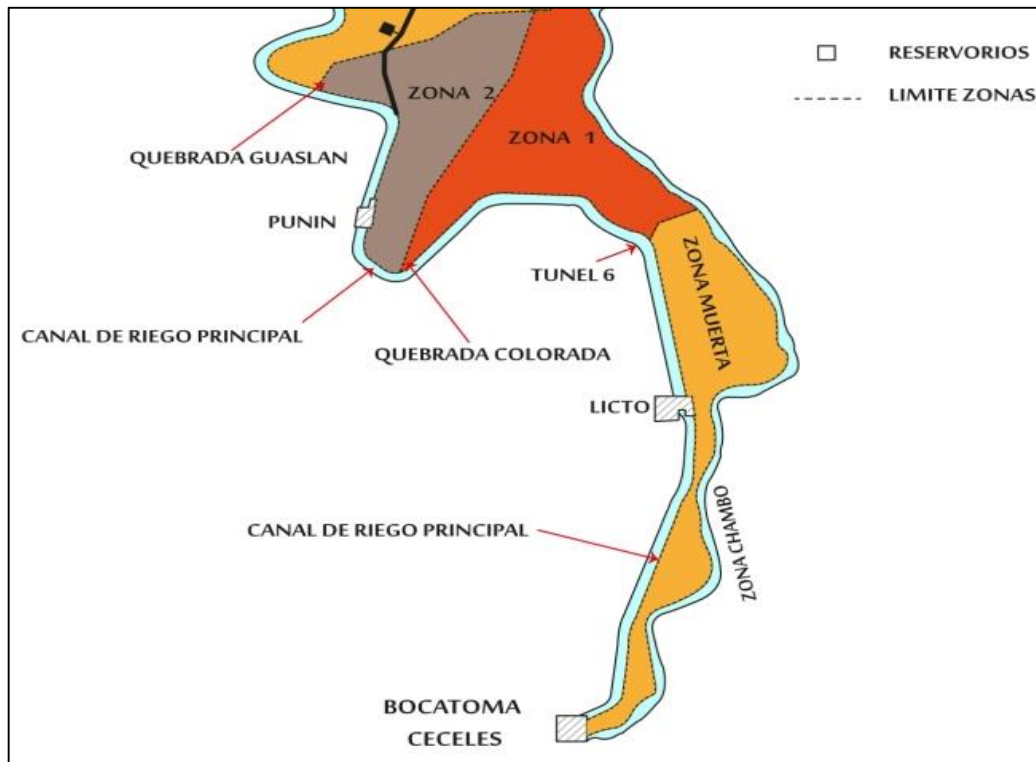


Figura 3-2: Bocatoma de Ceceles

Fuente: Junta General de Usuarios de Riego Chambo Guano. Mapa del sistema. Ubicación del proyecto y área de impacto.

El objetivo primordial en el sistema de represa de la bocatoma en Ceceles es brindar un caudal adecuado al canal de riego manteniendo la alimentación del recurso acuífero para los usuarios en cualquier circunstancia, sea esta climáticamente favorablemente o no, tomando las debidas precauciones para el mantenimiento del canal como por ejemplo la utilización de rejillas a la entrada del canal principal (Figura 4-2).



Figura 4-2: Inicio del canal principal con rejillas de protección
Fuente: SILVA CONDE, Angel Alberto, 2016

El canal principal cuenta con mecanismos de compuertas (Figura 5-2) al ingreso del mismo, funcionando como válvulas de cierre y apertura lineal por medio de un par de motores de 5HP que controlan 4 compuertas con la función de regular el paso del agua e inicie el recorrido hacia la tubería principal TB11 (Figura 6-2) y a cada una de las reservas ubicadas en diferentes zonas de la provincia.

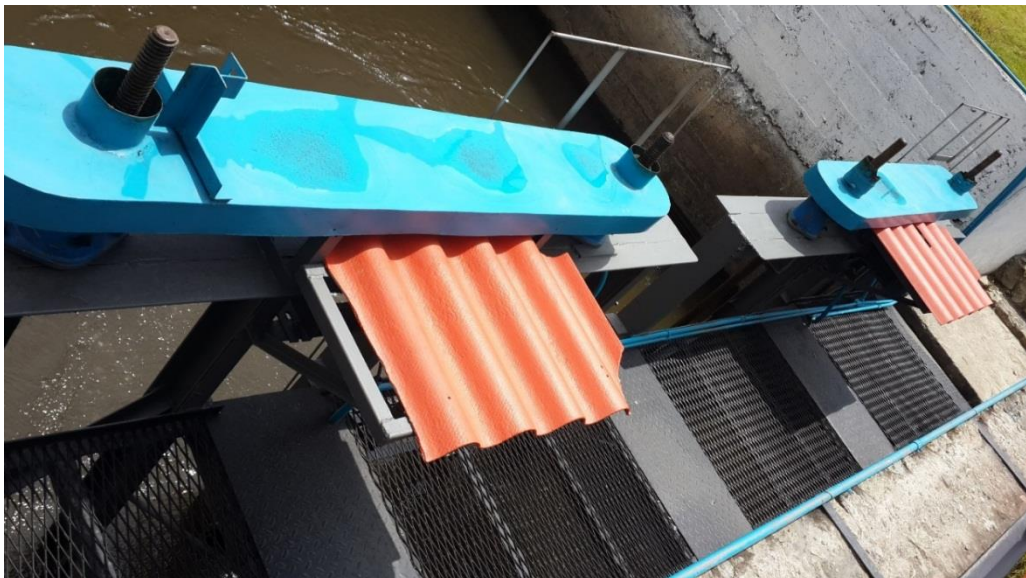


Figura 5-2: Mecanismos de compuerta al ingreso del canal principal
Fuente: SILVA CONDE, Angel Alberto, 2016

El final del canal principal luego de pasar por un recorrido extenso está en la zona 7, se lo llama sifón y está ubicado en el cantón Guano (Figura 6-2).

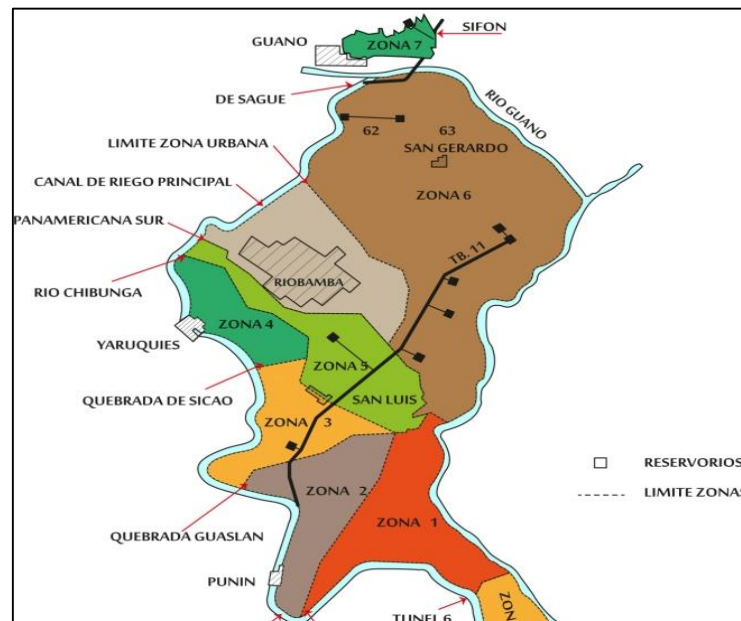


Figura 6-2: Mapa de la ubicación de los reservorios

Fuente: Junta General de Usuarios de Riego Chambo Guano. Mapa del sistema. Ubicación del proyecto y área de impacto.

El reservorio 66 está ubicado en la parroquia san Gerardo provincia de Chimborazo y posee un sistema de ingreso de agua por medio de una válvula con mecanismo de mariposa para posteriormente controlar el nivel del tanque reservorio mediante un sistema de vasos comunicantes y una compuerta para la distribución del agua en reserva (Figura 7-2).



Figura 7-2: Reservorio 66 de sistema de riego Ch-G

Fuente: SILVA CONDE, Angel Alberto, 2016

2.5.2. Distribución de la inversión para la construcción de nuevos sistemas de riego

La distribución de la inversión en materia de la construcción de nuevos sistemas de riego se prioriza en base a la superficie ocupada por la pequeña y mediana agricultura sin riego y la superficie bajo la necesidad teórica de riego. (Subsecretaría de Riego y Drenaje, 2016)

El resultado para la provincia de Chimborazo es favorable con un 9.95% del presupuesto total del país destinado para la construcción de nuevos sistemas de riego, lo cual representa una gran oportunidad para demostrar que el control a distancia por medio de la red GSM en los nuevos sistemas o redes de riego es una solución sostenible y sustentable brindando a los operarios las facilidades de control inmediato para brindar un servicio oportuno a los usuarios.

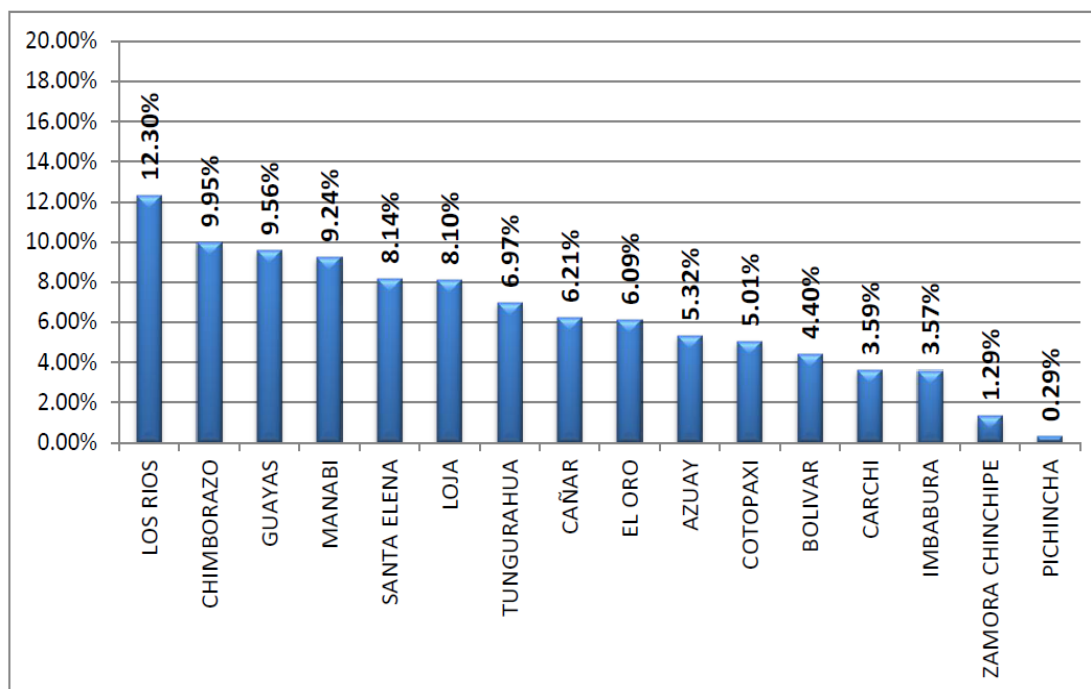


Figura 8-2: Distribución en porcentajes para inversión en nuevos sistemas de riego.

Fuente: Plan Nacional de Riego y Drenaje 2011-2026

2.6. Propuesta de innovación tecnológica para sistemas de riego

La tecnificación de los procesos de riego dentro del sistema de riego Chambo Guano parte de los estudios previos realizados en reservorios con características similares al reservorio 66 con el antecedente de la implementación de un sistema que controla el nivel de agua que ingresa a las reservas y la presión en las tuberías, que, en la actualidad ya ha cumplido su tiempo de vida útil y necesita una actualización o repotenciación basado en las necesidades de los usuarios del

sistema de riego. Además haciendo énfasis en los principales elementos o equipos contemplados en el presente desarrollo para la innovación tecnológica.

2.6.1. *Estudios relacionados a la tecnificación de sistemas de riego a nivel nacional*

Como antecedente al desarrollo del presente estudio es necesario conocer los sistemas actualmente existentes y analizar el estado actual de los mismos para determinar si satisface las necesidades actuales de los usuarios del sistema de riego Chambo – Guano.

Por medio de una revisión bibliográfica extensa se encontró un estudio que propone el diseño y construcción de un prototipo para el control y monitoreo para reservorios dentro del mismo sistema se plantea como objetivo principal emplear la comunicación GSM para controlar y monitorear la válvula que distribuye el líquido vital a los regantes beneficiarios del reservorio 64 (Miranda, 2015).

En el reservorio 64 se cuenta con un tablero de control con un PLC comunicado con una placa arduino por medio de señales del tipo digital transistorizadas (Miranda, 2015), este proceso puede resultar funcional pero no sostenible a largo plazo, ya que al ser equipos para distintos ambientes el funcionamiento para la placa arduino no es el óptimo provocando que el microcontrolador se des programe por motivo de la presencia de actuadores que tiene un elevado consumo de corriente.

Dentro del tablero se encuentra también un sensor de nivel que proporciona la realimentación para realizar el control del nivel del reservorio (Miranda, 2015), pero no cuenta con un sistema de monitoreo para saber el estado del nivel, otra etapa instalada dentro del tablero es el de un banco de condensadores que alimentan al circuito electrónico GSM basado en arduino para que en caso de corte de energía eléctrica este banco de condensadores alimente el circuito por unos instantes hasta lograr el envío de la alerta de la falta del suministro eléctrico, esto es una solución muy útil pero a la vez poco sostenible porque alimenta parcialmente a los procesos que maneja el tablero de control, convirtiéndose en otro factor que determina o cataloga al estudio realizado como un prototipo, además de la imperiosa necesidad del sistema para ser reiniciado cada vez que ocurre un corte de energía, esto demanda de la presencia de los operarios para poner en marcha el sistema prototipo.

Uno de los principales inconvenientes en la parte operativa del prototipo es la baja efectividad en la entrega y recepción de los mensajes de texto por motivos de la desprogramación de la tarjeta arduino, dejando a los encargados del mantenimiento del reservorio sin notificación ni control del mismo y una vez más es necesaria la presencia del programador para restaurar el tablero.

Es necesario tomar en cuenta que el prototipo funciona sin variación en las condiciones de funcionamiento convirtiéndose en un sistema con poca capacidad para adaptarse a nuevas necesidades, salvo el caso de una nueva programación dentro del controlador realizada por un técnico calificado en la rama de la automatización industrial.

La tecnología GSM a nivel nacional es utilizada por lo general para comunicaciones convencionales por medio de operadoras móviles para el intercambio de datos, llamadas y mensajes de texto, adicionando en estudio del prototipo implementado en el reservorio 64.

Otro de los estudios realizados en el país sobre el uso de la red GSM es para el monitoreo y adquisición de datos de una estación meteorológica a través de la red GPRS en el cual realiza únicamente el monitoreo y adquisición de variables presentes en una estación meteorológica utilizando un módulo de comunicaciones GPRS para PLC en la configuración de Telecontrol para mostrar los resultados en un software de Supervisión, Control y Adquisición de Datos (SCADA) por sus siglas en inglés, realizado en el software WinCC flexible 2008 (Maldonado, 2013).

2.6.2. Controlador Lógico Programable (PLC)

El controlador lógico programable S7 1200 ofrece la flexibilidad y la capacidad para controlar distintos dispositivos para varias de las aplicaciones dentro las tareas de automatización por su diseño compacto con un conjunto de instrucciones que facilitan las tareas de programación simplificando líneas de comandos para lograr disminuir la memoria utilizada dentro de la CPU. La CPU un microprocesador, una fuente de alimentación propia así como circuitos de entrada y salida formando parte de un potente PLC de gama media. El programa cargado en un PLC tiene la lógica necesaria para vigilar y controlar los dispositivos de las aplicaciones, incluye dentro de sus funciones procesos para tratar señales del tipo digital analógico de entrada y salida, manejo interno de otros tipos de datos como string, caracteres, variables de tiempo, fecha, entre otras por medio de bloques configurables para cada tipo de dato como temporizadores, contadores, comparadores, funciones matemáticas, etc. También incorpora un puerto físico de comunicación para la red PROFINET y la capacidad de ampliación para hardware como módulos de comunicación como GSM/GPRS, PROFIBUS, RS232, RS485, RS422 y otros dependiendo de la CPU utilizada, también módulos de señales como termocuplas, SignalBoard (SB), analógicas de 4 a 20 mA, 0 a 10V y digitales del tipo transistor o relé. (SIEMENS, S7-1200 MANUAL DEL SISTEMA, 2014)

La CPU utilizada dentro de la automatización del reservorio 66 es la 1214 que posee características que cumplen con los requerimientos (Tabla 4-2) de la aplicación por tener una

buena capacidad de memoria y manejo de más variables del tipo marca (M) que una CPU1212 para asegurar una de las más importantes características del sistema como es la escalabilidad y flexibilidad para la ampliación según la demanda futura en cuanto a la capacidad de la reserva y confort que debe ofrecer a los encargados de sostener el sistema de riego.

Tabla 4-2: Comparación entre 2 distintas CPUs del PLC S7-1200.

Dimensiones físicas		CPU 1212C	CPU 1214C
Memoria de usuario	Trabajo	50KB	75KB
	Carga	1MB	4MB
	Remanente	10KB	10KB
Entradas y salidas locales	Digital	8 in / 6 out	14 in / 10 out
	Analógico	2 entradas	2 entradas
Área de marcas		4096 bytes	8192 bytes
Ampliación de módulos de señales		Hasta 2	Hasta 8
Signal Board		1	1
Módulos de comunicación		3	3
Puerto de comunicación PROFINET		1	1

Fuente: SIEMENS, Manual del Sistema PLC S7-1200

Se puede notar claramente que en la capacidad de ampliación de los dispositivos de hardware compatibles con el PLC con CPU1212C es limitada y por ende también la capacidad de manejo de memorias o marcas precisamente resultados de la falta de expansión de módulos de señales, mientras que para la CPU 1214C se puede conseguir una ampliación extensa en hardware para hacer crecer el proceso sin la necesidad de poner otro PLC por falta de entradas y/o salidas. En cuanto la cantidad de bloques de programación (Tabla 5-2) utilizados también es importante conocer la cantidad disponible para evitar fallas en el software interno del CPU.

Tabla 5-2: Bloques, temporizadores y contadores

Elemento	Descripción	
Bloques	Tipo	OB, FB, FC, DB
	Tamaño	30KB CPU 1211C
		50KB CPU1212C
		64KB CPU 1214C, 15C,17C
	Cantidad	Un total de hasta 1024 bloques (OB + FB + FC + DB)
	Profundidad	16 desde el OB de ciclo o arranque; 6 desde cualquier OB de evento de alarma
Observar	Se puede observar a la vez el estado de 2 bloques lógicos	
OB	Ciclo del programa	Múltiple
	Arranque	Múltiple
	Alarmas de retardo	4

	Alarmas Cíclicas	4
	Alarmas del Proceso	50
	Alarmas de error de tiempo	1
	Alarmas de error de diagnostico	1
	Aserción o extracción de módulos	1
	Fallo de rack o estación	1
	Hora	Múltiple
	Estado	1
	Actualizar	1
	Perfil	1
Temporizadores	Tipo	CEI
	Cantidad	Limitado por el tamaño de memoria
	Almacenamiento	Estructura en DB, 16 bytes por temporizador
	Tipo	CEI
	Cantidad	Limitada por el tamaño de la memoria
	Almacenamiento	Estructura en DB, tamaño dependiente del tipo de contaje
		Sint, USInt: 3 Bytes
		Int, UInt: 6 Bytes
		DInt,UDInt: 13 Bytes

Fuente: SIEMENS, Manual del Sistema PLC S7-1200

2.6.3. *Interfaz hombre maquina (HMI)*

Los procesos industriales y la modificación de los mismos por medio de la programación en el PLC son realizados por ingenieros con mano de obra calificada en el área de la automatización, estos procesos son en su mayoría manipulados o monitoreados por operadores que no tienen suficiente conocimiento sobre la programación de los equipos, pero existe una manera de ingresar parámetros de funcionamiento a las maquinas o procesos por medio de un entorno gráfico entendible para los usuarios como son los paneles de operador o pantallas HMI.

La SIMATIC HMI Basic incorpora una pantalla TFT táctil (Figura 9-2) para el proceso y tareas de control por parte del operador. El panel ofrece un grado de protección IP65 y certificación CE, UL, cULus y NEMA 4x. (SIEMENS, S7-1200 MANUAL DEL SISTEMA, 2014)

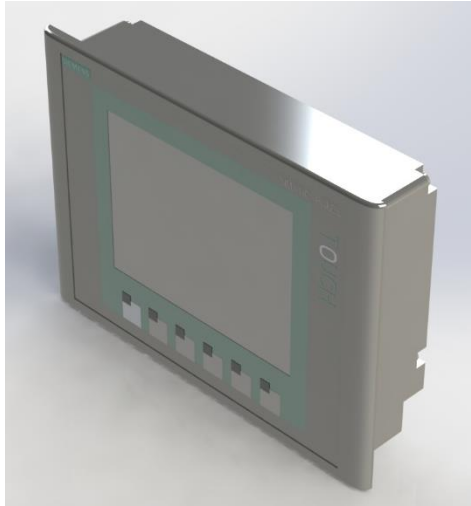


Figura 9-2: Panel de Operador HMI KTP600
Fuente: SILVA CONDE, Angel Alberto, 2016

La pantalla TFT de 6 pulgadas estará presente dentro del proceso de riego para interactuar con el los usuarios del sistema de riego formando parte de un tablero de control (Figura 10-2).



Figura 10-2: Tablero de control con HMI
Fuente: SILVA CONDE, Angel Alberto, 2016

2.6.4. Variador de frecuencia

Los accionamientos o mecanismos basados en motores eléctricos son los más utilizados a nivel industrial y una variedad de aplicaciones como es el control de compuertas ara riego, el arranque directo de los motores es una de las técnicas para ponerlos en operación tomando en cuenta los

pícos al arranque y si la frecuencia de funcionamiento es alta el costo energético es considerablemente alto. La técnica de arranque de un motor trifásico por medio de la variación de frecuencia con un convertidor electrónico de potencia que transforma la energía eléctrica de frecuencia estándar a una energía eléctrica de frecuencia variable incluyendo además dentro del convertidor protecciones para el motor contra sobre corrientes, altas temperaturas, regulación del circuito intermediario, etc.

El variador de frecuencia (Figura 11-2) utilizado dentro del proceso de apertura y cierre de válvulas tiene las siguientes características y ventajas.

- Rango de potencia: 0,25 hasta 4 kW (0.25 hasta 5 HP)
- Monofásico y Trifásico
- Tensión de Alimentación: 100-127 V y 200-240 V
- Control Escalar (V/F) o Vectorial (VVW)
- Capacidad de Sobrecarga: 150% de la corriente durante 60 seg.
- Filtro RFI interno (opcional)
- Temperatura Ambiente: -10 hasta 50 °C (14 hasta 122 °F)
- Todas las tarjetas electrónicas son barnizadas clasificadas como 3C2 de acuerdo con la normativa IEC 60721-3-3
- Grado de Protección IP20
- HMI incorporada
- 4 entradas digitales aisladas y programables
- Salida a relé programable
- Una entrada analógica aislada y programable



Figura 11-2: Variador de Frecuencia
Fuente: WEG, CFW10 Easy Drive CFW10

2.6.5. *Motor trifásico*

El motor trifásico tiene el mayor rendimiento de todos los motores dentro del campo tecnológico. Otros tipos de motores como los térmicos oleo neumáticos de combustión tienen un rendimiento muy bajo comparados con el motor trifásico. Uno de los problemas fundamentales de los motores de combustión interna es el sistema de refrigeración porque en su interior se genera un calor muy intenso mientras que los diseños actuales de los motores trifásicos de más de 200KW se pueden encontrar rendimientos de más del 98%, cifra casi insuperable para cualquier otro tipo de maquina rotativa. (Valentín Labarta, 2001).

De entre sus características ventajosas se destacan las siguientes:

- Robustez y pocas intervenciones de mantenimiento
- Buena relación Potencia peso (KW/Kg)
- Flexibilidad para la regulación de velocidad
- Bajo costo

Su funcionamiento está basado en la acción motriz que ejerce un campo magnético giratorio sobre un bloque rotativo con tres devanados fijos instalados eléctricamente a 120° entre si y alimentados por un sistema trifásico produce un campo giratorio con un valor constante y la velocidad de giro depende de las características de armado de los devanados así como de la frecuencia de la tensión alterna aplicada al motor. La parte fija del motor trifásico (Figura 12-2) en la que se encuentran los devanados reciben el nombre de estator y la parte giratoria se denomina rotor. (Valentín Labarta, 2001)

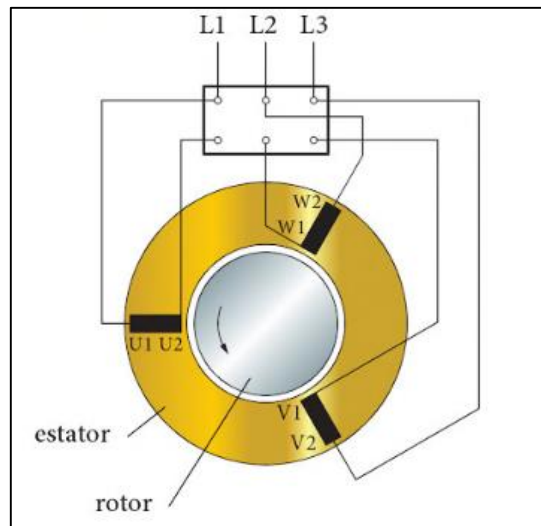


Figura 12-2: Representación esquemática de un motor trifásico

Fuente: Valentín Labarta, Automatismos Industriales.

Todo Motor Trifásico tiene una velocidad de sincronismo (n_s) a la que el motor intenta aproximarse y está dada por la expresión.

$$n_s = \frac{60 \cdot f}{p} (rpm)$$

Donde f es la frecuencia (Hz) de la tensión aplicada y p es el número de pares de polos del estator, el mínimo número de pares de polos es uno, siendo este un motor bipolar al que le corresponderá una máxima velocidad de sincronismo de 3000 rpm a una frecuencia de 50 Hz

La construcción rotor está hecha de modo que pueda girar alrededor del mismo eje que el estator está formado de un cilindro compuesto por chapas magnéticas prensadas con ranuras en el perímetro, estas ranuras se introducen en los conductores que forman el devanado del rotor. El estator es un anillo cilíndrico compuesto por chapas metálicas prensadas y ajustadas a presión en la carcasa del motor y en su superficie externa se dispone de ranuras en las que se alojan los conductores de los devanados. El circuito eléctrico del motor trifásico consta de tres devanados estáticos (U, V y W) que se conectan a la red trifásica con lo que se crea el campo giratorio que

induce a los devanados rotóricos, los tres devanados rotóricos tiene un punto interno común (Figura 13-2) resultante de unir los tres extremos de los devanados, los tres restantes forman las bobinas (K, L y M) a las cuales se puede acceder desde la bornera del motor. (Valentín Labarta, 2001)

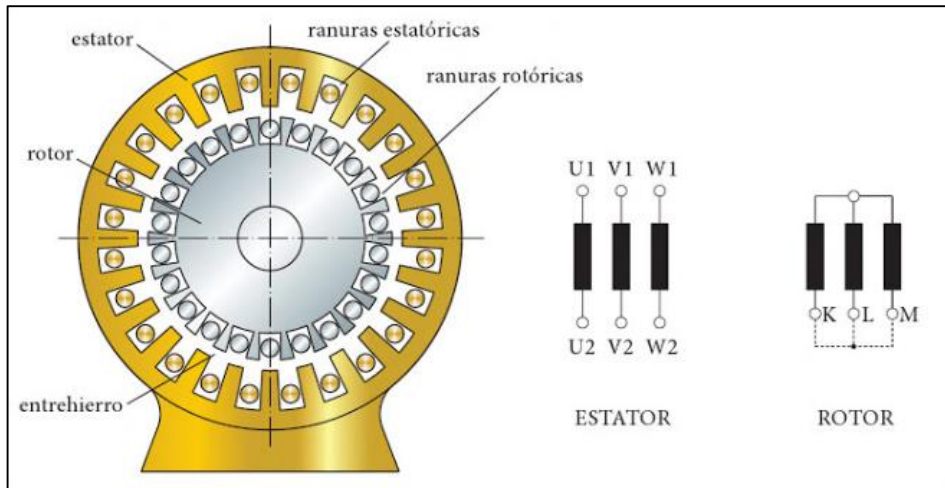


Figura 13.2: Circuito eléctrico de un motor trifásico

Fuente: Valentín Labarta, Automatismos Industriales.

El motor trifásico puede arrancarse de manera directa en estrella o triángulo, pero la manera más efectiva para mantener el motor por mucho tiempo operativo es arrancarlo desde un variador de frecuencia con una adecuada rampa de ascenso y apagarlo con una rampa de descenso de igual manera logra la inversión de giro de manera segura con un variador al finalizar un estado anterior o giro contrario por completo.

Los mecanismos dentro de muchos procesos que utilizan motores por lo general tienen un mecanismo de reducción de velocidad y aumento de torque, logrando que el motor no tenga un gran esfuerzo en las tareas industriales.

2.6.6. *Sensores industriales*

Los sensores industriales son de fundamental ayuda para que un controlador pueda captar las variables de un proceso industrial como por ejemplo la temperatura, presión, caudal, nivel, fuerza, etc. El medio de conexión entre un sistema electrónico o cualquier controlador en general con las variables físicas debe ser un elemento que convierta estas variables a señales eléctricas que el dispositivo de control sea capaz de interpretar.

Se asume como sensor al elemento o dispositivo que, situado en un cierto medio genera una señal de determinada forma física convertida a una señal de otra forma física diferente. El elemento que realiza la conversión se suele denominar transductor

Según el tipo de señal que entregan los sensores se pueden clasificar en digitales y analógicos, ambos muy utilizados según la aplicación a realizar. En la presente implementación se utilizan sensores del tipo digital, inductivos y sensor de nivel todo o nada con salida de relé.

2.6.6.1. Sensores digitales

Los sensores digitales generan señales eléctricas que solo toman dos valores o dos niveles entre el máximo y mínimo (Figura 14-2), son dos únicos estados por los cuales toman el nombre de señal digital. Solo pueden tener dos niveles de tensión, sea esta como el nivel alto como nivel lógico 1 y el nivel bajo como estado lógico 0 en el caso de asumir una lógica positiva, por otro lado si se toma el nivel alto como 0 y el estado bajo como 1 la lógica será inversa o negativa. (Pérez, Acevedo, Silva, & Armesto, 2009)

La representación del histórico de datos entregados por un sensor digital se puede representar como un tren de información que al combinarla se lo puede denominar como un byte si está compuesta de ocho bits o estados individuales.

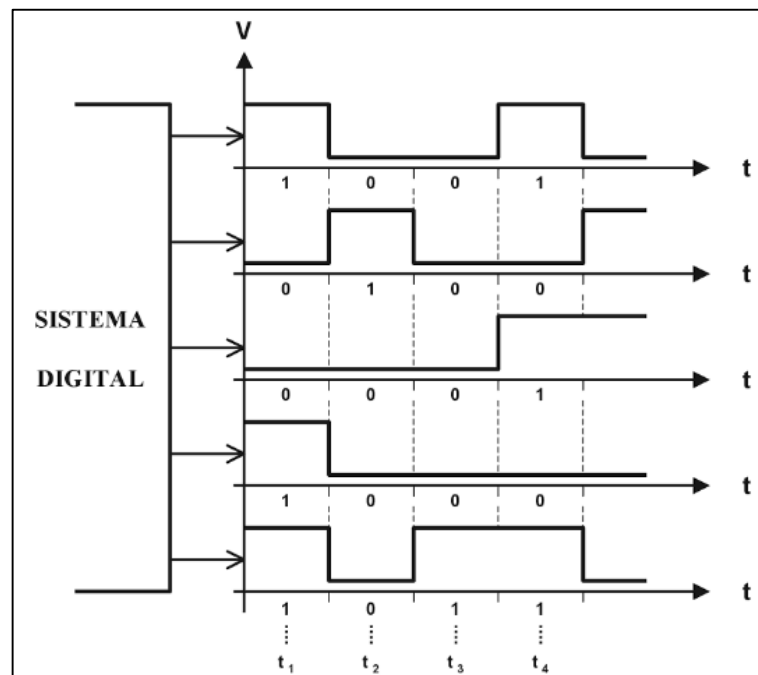


Figura 14-2: Señales digitales en instantes t distintos

Fuente: Pérez, Acevedo, Silva, & Armesto, *Autómatas Programables y Sistemas de Automatización*

2.6.6.2. *Sensores analógicos*

La señal analógica es una señal continua que puede tomar cualquier valor de dentro de un rango de valores o márgenes y llevan la información en su amplitud. Las variables físicas a medir o cuantificar por lo general son del tipo analógico entregando una innumerable cantidad de datos en el transcurso de la medición, pero las señales eléctricas generadas por los elementos sensores analógicos son susceptibles al ruido, interferencias o distorsión, sobre todos si se las trasmite a distancias grandes, por esta razón es importante la utilización de circuitos de acondicionamiento que ayuden a que la señal llegue sin mayor afectación para señales de voltaje en medios cableados. (Pérez, Acevedo, Silva, & Armesto, 2009)

Por la razón antes expuesta de la pérdida de la señal en el transcurso del camino de transmisión se utiliza los transmisores de señales que por lo general convierten el variable medida en una señal de corriente, que al transmitirse por un medio cableado considerablemente grande no afecta su magnitud por que la corriente a lo largo de un circuito eléctrico es la misma, a nivel industrial los transmisores más utilizados son los que entregan señales de 4 a 20mA.

Se puede entonces determinar que una señal alterna es continua pero una señal continua no siempre es alterna para efectos de análisis en la polaridad de las señales analógicas.

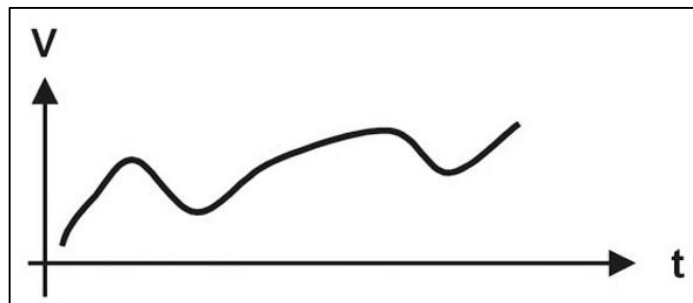


Figura 15-2: Señal analógica

Fuente: Pérez, Acevedo, Silva, & Armesto, *Autómatas Programables y Sistemas de Automatización*

2.6.7. *Red industrial Profinet (Process Field Net)*

La red Profinet es una red universal Ethernet Industrial, basada en la red Ethernet y en los protocolos TCP/IP de Internet. La red Profinet proporciona servicios para comunicar dispositivos en todos los niveles de la pirámide CIM (Computer Integrated Manufacturing) de tal forma que puede controlar sistemas en movimiento (Motion Control) que especifica un tiempo de respuesta menor a 1ms, que, al tratarse sistemas en movimiento sus parámetros o modificaciones deben ser

- Alta Eficiencia
- Simplicidad de cableado
- Diagnóstico de red y de dispositivos
- Conexión en línea con dispositivos
- Eficiencia energética
- Cambio rápido de dispositivos
- Robustez
- Velocidad y precisión
- Alta velocidad de transferencia y arranque
- Redundancia

2.6.8. *Control y monitoreo por medio de la red GSM*

Como una solución a los sistemas electrónicos adaptados que carecen de un grado de protección o un filtro y por efecto de aquello se desprograman las memorias internas, se plantea la utilización de un módulo de comunicación GSM propio del PLC S7-1200 como una solución que ofrece seguridad al momento de procesar las ordenes enviadas por medio de la red GPRS.



Figura 17-2: Módulo de comunicación GSM/GPRS para PLC S7-1200
Fuente: SIEMENS, Support Industry

La propuesta de control y monitoreo mediante la red GPRS presta la ventaja de llevar a cabo el manejo del sistema de forma remota; de modo que se tiene la facilidad de establecer la comunicación con el usuario por medio de un teléfono celular de cualquier operadora optimizando

sobre todo el tiempo de ejecución en el proceso. El módulo de comunicaciones es de estándar industrial lo cual facilita las tareas en ambientes que presentan cierto grado de ruido eléctrico, humedad, polvo, etc.

En las zonas de difícil acceso que no se dispone de un medio de transmisión cableado y en las que implementar una red inalámbrica independiente implica un coste demasiado elevado, la transmisión de datos a través de SMS usando la red móvil GSM (Figura 18-2) es una alternativa de gran utilidad y más aún si la recepción de la información es personalizada.

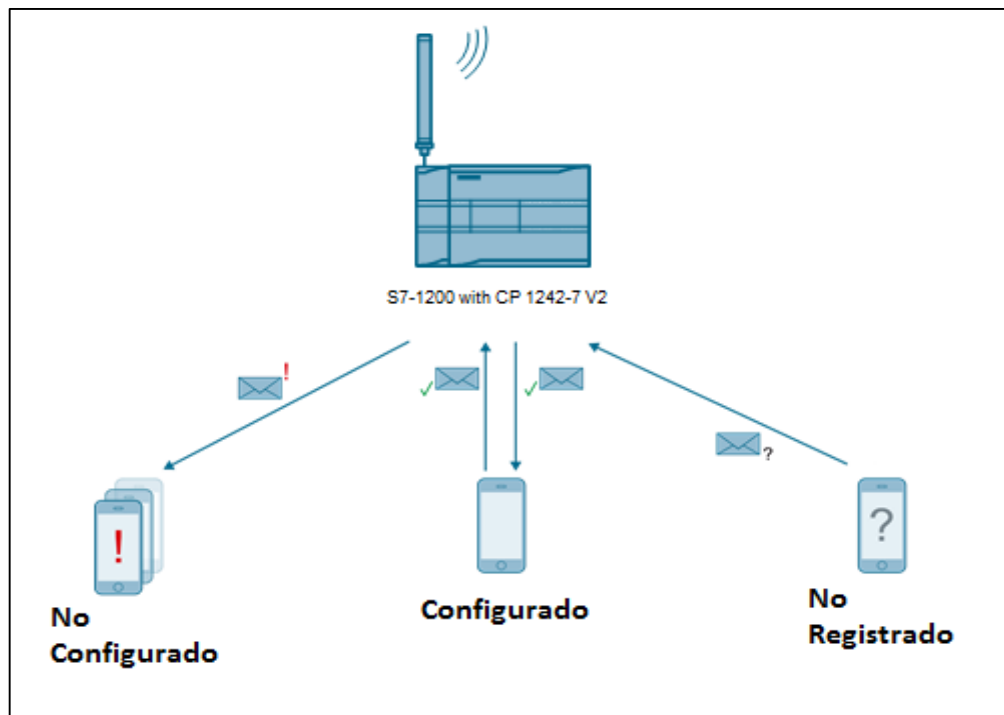


Figura 18-2: Comunicación del módulo CP 1242-7 a dispositivos móviles
Fuente: SIEMENS, Support Industry

Las posibilidades de programación para el reconocimiento y validación de mensajes de texto que se realizan por medio del módulo de comunicación GSM se presentan cuando el modem realiza el envío a un número de teléfono celular no configurado como un receptor valido dentro del módulo CP 1242-7, la siguiente posibilidad es que el módulo de comunicación tenga e registrado y debidamente configurado como un terminal valido a un número telefónico con el que pueda intercambiar mensajes de texto, esta es la configuración adecuada para realizar las tareas de control y monitoreo de los procesos dentro del reservorio 66 y la última opción es, que el módulo de comunicación GSM reciba un mensaje de texto con alguna instrucción desde un número de teléfono no registrado, esta última acción es por seguridad del proceso ya que al validar mensajes de cualquier número de teléfono se pueden dar confusiones y provocar el mal funcionamiento del proceso.

CAPÍTULO III

3. DISEÑO DE INVESTIGACIÓN

3.1. Estado inicial del reservorio 66

El sistema de control instalado en el reservorio 66 constaba de un tablero que ejecutaba rutinas de apertura y cierre de una válvula mariposa por medio de un mecanismo poco convencional cerrado y poco accesible a modificaciones que actualmente cumplió con su tiempo de vida útil haciendo necesaria la presencia frecuente de personal en el sitio y de forma manual intervenir en el sistema mecánico y con el transcurso del tiempo se ha ido desgastando la estructura mecánica. El proceso de distribución se ejecutaba de forma manual sin ningún mecanismo que ayude a disminuir los esfuerzos e inversión de tiempo por parte del personal encargado.

El funcionamiento no era el adecuado, causando problemas de carácter operativo y logístico por motivo de la deficiente operatividad del sistema eléctrico y mecánico.

La implementación del sistema automatizado dotara al reservorio 66 de un control adecuado tanto al ingreso como a la distribución del agua (Figura 1-3) por medio de sistemas mecánicos acoplados a las válvulas principales.

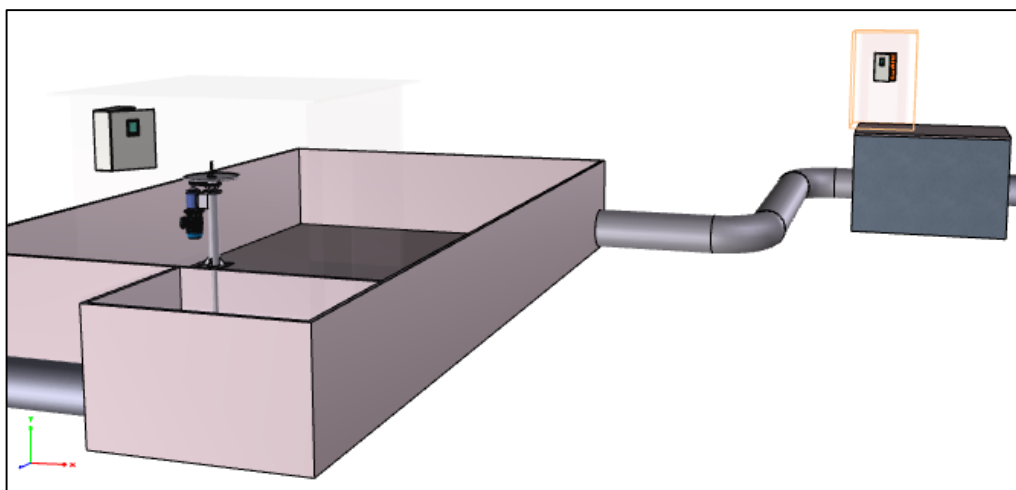


Figura 1-3: Representación CAD del reservorio 66

Fuente: SILVA CONDE, Angel Alberto, 2016

3.2. Control de ingreso de agua al reservorio desde la red de riego TB11

El canal principal de riego llega hasta un sitio de repartición del agua de riego llamado TB11, dentro de este lugar se realiza el proceso de regulación de la cantidad de agua que llega a las tuberías que abastecen a varios reservorios extendidos desde la Punín hasta Guano.

La regulación de la cantidad de agua se la hace por medio de compuertas de tornillo y tuerca fija que recorren la compuerta en una trayectoria lineal vertical, el control de ingreso a la tubería se lo hace por medio de un mecanismo que detecta la cantidad elevada de presión que existe en las paredes del canal, si la presión está en el rango adecuado que es directamente proporcional al nivel del canal, el mecanismo de alivio de presión no entra en funcionamiento logrando que el agua ingrese a la tubería principal en condiciones normales, caso contrario si el agua sobrepasa un nivel y por ende la presión aumenta el mecanismo libera la cantidad de agua que produce la sobrepresión desperdiciando la cantidad en exceso.

Tubería de carga al reservorio tiene una válvula del tipo mariposa (Figura 2-3) que controla el paso, o el cierre total para el agua de riego, consta de un eje que es forzado de forma manual para abrir o cerrar la válvula en un número considerable de vueltas, por lo tanto es necesario incluir un mecanismo con motor y reductor para tener un mejor control del número de vueltas necesario para la acción de apertura o cierre en función al nivel del tanque de almacenamiento.



Figura 2-3: Diseño CAD de la Válvula mariposa

Fuente: SILVA CONDE, Angel Alberto, 2016

La tubería de ingreso se encuentra dentro de un cuarto subterráneo (Figura 3-3) con un volumen de 21.9 m³, esta tubería se extiende hasta el tanque de reserva con una capacidad de 18000m³.

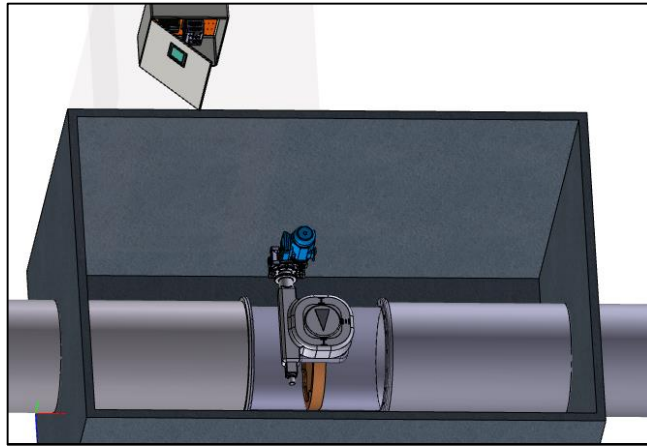


Figura 3-3: Tubería de ingreso a la reserva
Fuente: SILVA CONDE, Angel Alberto, 2016

Para el control de apertura y cierre automático es necesario el mecanismo con un motorreductor colocado en base al anterior motor que se encontraba en estado no operativo pero especificaba una potencia de 1 Hp, el motorreductor consta en el eje con una distribución uniforme de 6 tornillos con cabeza hexagonal, cada uno con una separación de 60 grados entre sí, para contar la cantidad de pulsos que pueda proporcionar la rotación del eje del motorreductor, conociendo de esta manera la posición exacta de la válvula mariposa evitando que se remuerda por exceso de vueltas o un mal funcionamiento o mala operatividad del sistema automático.

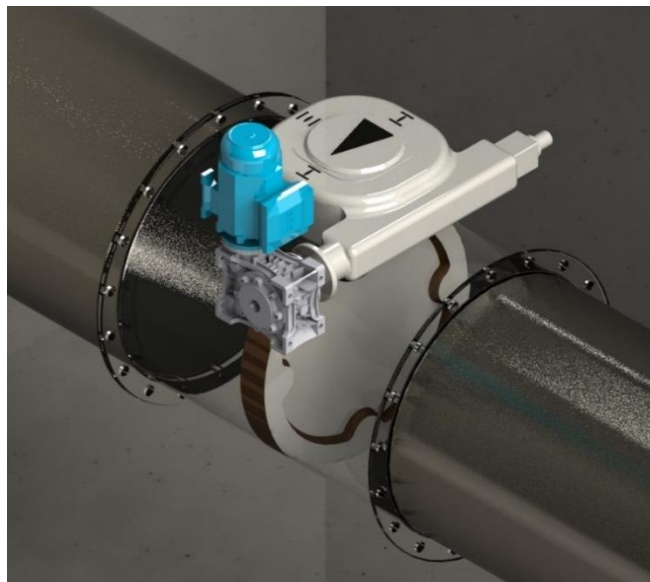


Figura 4-3: Válvula en estado cerrado
Fuente: SILVA CONDE, Angel Alberto, 2016

Las dos posiciones fijas que se deben conseguir al controlar la válvula de compuerta son el estado cerrado con el indicador de la válvula ubicado en forma perpendicular al flujo en la tubería (Figura 4-3) y el otro estado es con el indicador de forma paralela al sentido de flujo de la tubería (Figura 5-3).

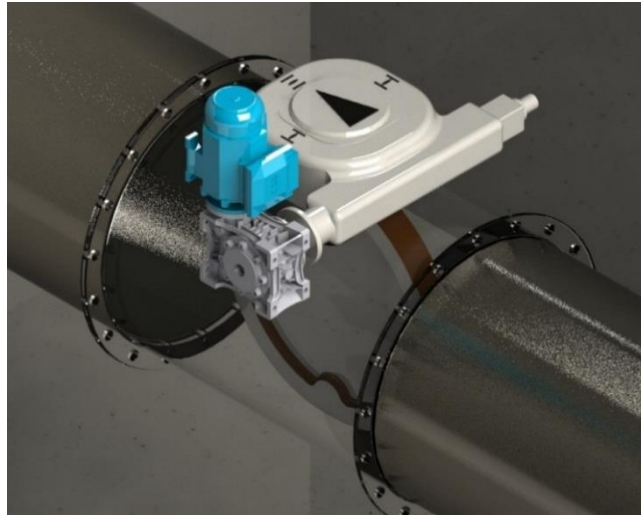


Figura 5-3: Válvula en estado abierto
Fuente: SILVA CONDE, Angel Alberto, 2016

3.3. Distribución de agua a las derivaciones

El sistema de distribución consta de una compuerta que soporta la presión del agua en sus paredes dentro del cuarto de medición del nivel subterráneo con un volumen de 250m^3 , que esta comunicado directamente con el tanque de 18000m^3 . La forma de abrir y cerrar la compuerta es por medio del conteo visual del número de vueltas (Figura 6-3) y en función a ello pueden conocer la cantidad de agua aproximada que se entrega a los usuarios



Figura 6-3: Válvula de compuerta sin mecanismo para el control
Fuente: SILVA CONDE, Angel Alberto, 2016

Para la ejecución de la automatización en la etapa de distribución es primordial contar con un sistema de apertura y cierre mecánico (Figura 7-3) comandado por un controlador para ejecutar las tareas diarias de manera repetitiva, el mecanismo es un motorreductor con una relación de velocidad adecuada para vencer la resistencia que ofrece el eje del volante por medio del tornillo en función al peso y presión que el agua ejerce en la compuerta.



Figura 7-3: Válvula de compuerta con motorreductor
Fuente: SILVA CONDE, Angel Alberto, 2016

El mecanismo del tornillo sin fin está ubicado dentro del cuarto de control, en la parte inferior del cuarto de control se encuentra el restante mecanismo de la válvula que es la extensión del mecanismo acoplado a la compuerta (Figura 8-3) que sella el paso del cuarto subterráneo en configuración de vaso comunicante con el tanque reservorio principal.

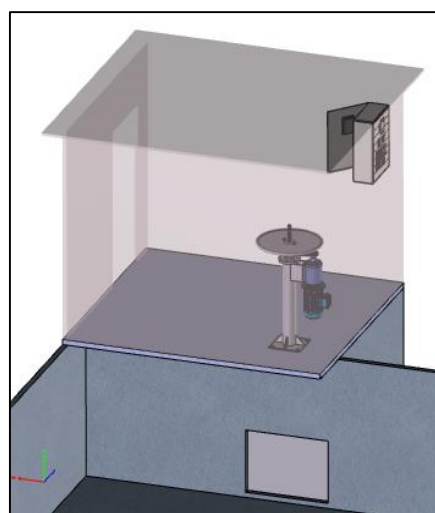


Figura 8-3: Ubicación física de la compuerta
Fuente: SILVA CONDE, Angel Alberto, 2016

En el interior del cuarto de control de lleva a cabo dos estados de la válvula de compuerta como es el cierre (Figura 9-3) del paso de agua por medio de la reducción total del área de distribución y la apertura (Figura 10-3) de la válvula en su totalidad, esto en condiciones normales de funcionamiento.

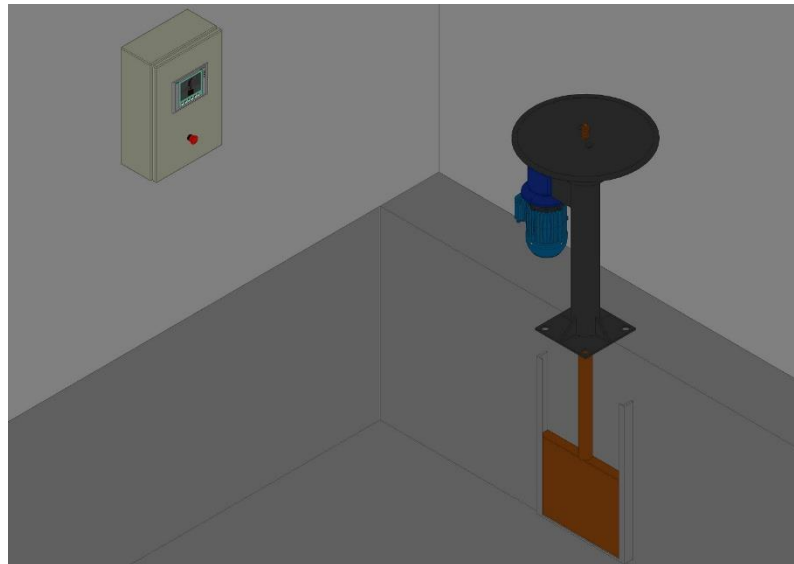


Figura 9-3: Válvula de compuerta cerrada
Fuente: SILVA CONDE, Angel Alberto, 2016

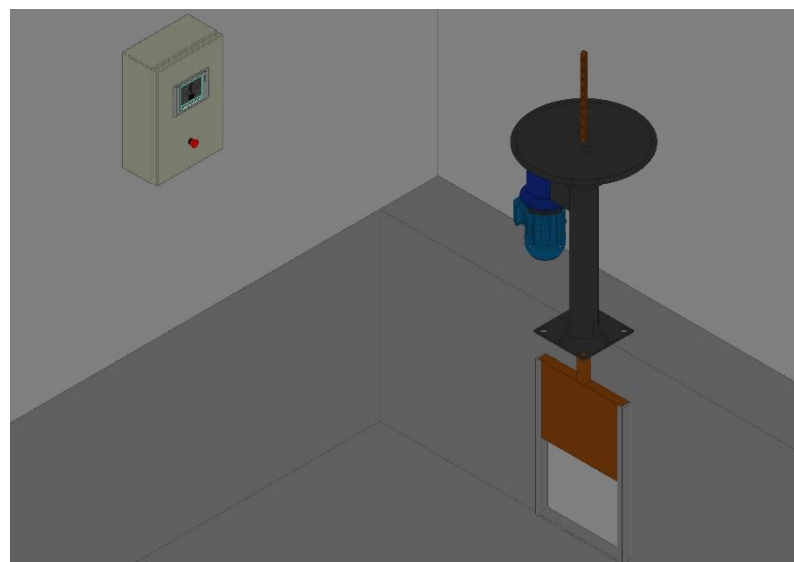


Figura 10-3: Válvula de compuerta abierta
Fuente: SILVA CONDE, Angel Alberto, 2016

Otra de las necesidades que manifiestan los usuarios es que en determinadas épocas de lluvia no existe la necesidad de la totalidad de caudal que puede proporcionar la válvula porque el clima

colabora a las labores de riego, en este caso el usuario necesita ingresar a modificar cual es el porcentaje de apertura o cierre de la válvula por medio de la interpretación del clima, una de las maneras para acceder a la modificación de parámetros es por medio de un panel de operador (Figura 11-3) en el cual pueda ingresar el número de vueltas que desea abrir y cerrar.



Figura 11-3: Ingreso de parámetros según la necesidad
Fuente: SILVA CONDE, Angel Alberto, 2016

3.4. Diseño mecánico de la compuerta

Para el diseño mecánico de los sistemas se debe tomar en consideración las variables presentes en el reservorio para el correcto dimensionamiento de los actuadores que ejercerán acciones de control sobre las estructuras mecánicas como una adaptación a los ya existentes.

En el mecanismo de la válvula mariposa no se precisa necesario el estudio mecánico porque el anterior mecanismo ya incorporaba un motorreductor con una potencia de 1 HP pero en estado no operativo, considerando necesario únicamente reemplazar el motor anterior por uno de similares características.

El diseño y estudio necesario para determinar cuál es el motorreductor adecuado para el mecanismo de la compuerta requiere de información presente en el propio reservorio, se detalla a continuación las variables medidas.

Tabla 1-3: Datos de las variables para el diseño mecánico

Características de la Compuerta	
Ancho de la Compuerta b	1.10 m
Altura de la compuerta h	1.10 m
Altura de la columna Agua H	5 m
Características del Tornillo Sin Fin	
Diámetro externo del Tornillo	1 ½ pulgadas
Paso del Tornillo	4 mm es de doble entrada
Material	Acero
Características de la Cadena y Rueda Dentadas	
Numero de Cadena	Paso 70
Diámetro de Rueda Menor	7 cm
Diámetro de Rueda Mayor	23 cm

Fuente: SILVA CONDE, Angel Alberto, 2016

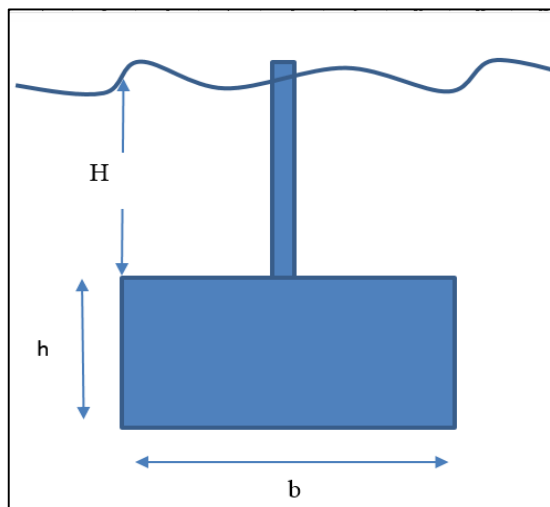


Figura 12-3: Representación gráfica de la ubicación de las variables

Fuente: SILVA CONDE, Angel Alberto, 2016

3.4.1. *Calculo de fuerzas*

Para poder tener conocimiento del torque requerido para que la compuerta del reservorio suba, es necesario evaluar las fuerzas que intervienen en esta, como lo es la fuerza hidrostática producida en la compuerta por ser esta una placa sumergida verticalmente en una columna de agua, así como la fuerza de fricción generada al movimiento por el contacto de la compuerta, así como el peso de la compuerta misma.

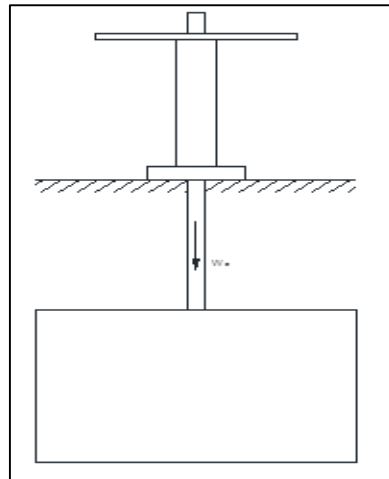


Figura 13-3: Fuerza hidrostática distribuida en una longitud
Fuente: SILVA CONDE, Angel Alberto, 2016

3.4.1.1. *Fuerza hidrostática en la compuerta*

Debido a que la compuerta se considera como una placa plana sumergida verticalmente, esta estará expuesta a la presión de la columna de agua la cual genera una fuerza hidrostática.

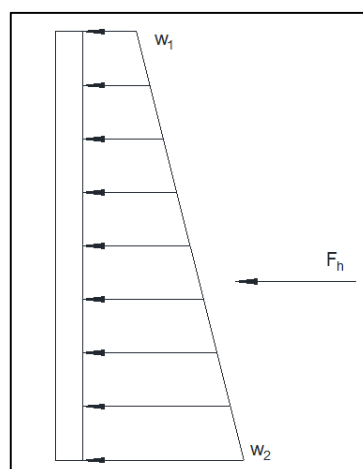


Figura 14.3: Fuerza hidrostática en la compuerta
Fuente: SILVA CONDE, Angel Alberto, 2016

El cálculo de la fuerza hidrostática distribuida por unidad de longitud se lo realiza con la ecuación:

$$w = b * h * \rho * g$$

Dónde:

w : Fuerza hidrostática distribuida por unidad de longitud, (N/m)

b : Ancho de la compuerta, $b = 1.10 \text{ m}$

h_1 : Altura de la columna de agua, $h_1 = 5 \text{ m}$

h_2 : Altura de la columna de agua, $h_2 = 6.1 \text{ m}$

ρ : Densidad del agua, $\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$

g : Aceleración de la gravedad, $g = 9.8 \text{ m/s}^2$

Reemplazando esta ecuación tenemos:

$$w_1 = b * h_1 * \rho * g$$

$$w_1 = 1.10 \text{ m} * 5 \text{ m} * 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 9.8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$w_1 = 53900 \frac{\text{N}}{\text{m}}$$

$$w_2 = b * h_2 * \rho * g$$

$$w_2 = 1.10 \text{ m} * 6.10 \text{ m} * 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 9.8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$w_2 = 65758 \text{ N/m}$$

La fuerza hidrostática total está dada por:

$$F_h = w_1 * l_1 + \frac{(w_2 - w_1) * l_1}{2}$$

$$F_h = 53900 \frac{\text{N}}{\text{m}} * 1.10 \text{ m} + \frac{(65758 \frac{\text{N}}{\text{m}} - 53900 \frac{\text{N}}{\text{m}}) * 1.10 \text{ m}}{2}$$

$$F_h = 59\,290\,N + 6\,521.9\,N$$

$$F_h = 65\,811.9\,N$$

3.4.1.2. Fuerza de fricción de la compuerta al subir

Por el movimiento de la compuerta al subir o bajar y por estar está en contacto con otra superficie, esta generara fuerzas de fricción opuestas al movimiento, estas fuerzas serán parte de la carga para elevar la compuerta, y esta es calculada por medio de la ecuación:

$$f_r = N * \mu_k$$

Dónde:

f_r : Fuerza de fricción, (N)

N : Fuerza normal a la superficie de fricción, $N = 65\,811.9\,N$

μ_k : Coeficiente de rozamiento cinético (Metal sobre Metal), figura 3, $\mu_k = 0.40$

Tabla 2-3: Coeficientes d rozamiento según la superficie

Superficie	Coefficientes Rozamiento	de
Metal sobre metal	0.15 - 0.60	
Metal sobre madera	0.20 - 0.60	
Metal sobre piedra	0.30 - 0.70	
Metal sobre cuero	0.30 - 0.60	
Madera sobre madera	0.25 - 0.50	
Madera sobre cuero	0.25 - 0.50	
Piedra sobre piedra	0.40 - 0.70	
Tierra sobre tierra	0.20 - 1.00	
Hule sobre concreto	0.60 - 0.90	

Fuente: (BEER & JOHNSTON, 2010)

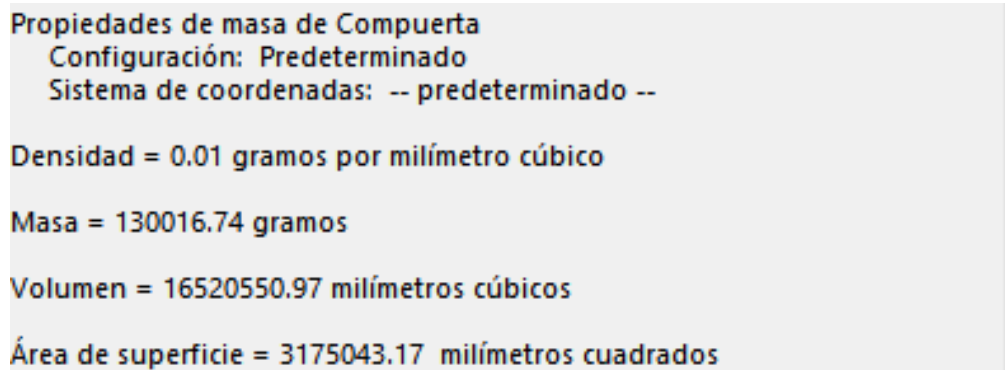
La fuerza normal se considera igual a la fuerza hidrostática del sistema, y considerando que la compuerta, deslizará sobre una superficie de acero, el coeficiente de rozamiento cinético será aproximadamente a 0.40, teniendo:

$$f_r = 65\,811.9\,N * 0.40$$

$$f_r = 26\,324.8\,N$$

3.4.1.3. Carga del para el tornillo de potencia

La carga que elevara el sistema, equivale a la suma de la fuerza de fricción presente que se calculó previamente y el peso de la compuerta que se obtiene del modelado realiza en el software SolidWorks.



Propiedades de masa de Compuerta
 Configuración: Predeterminado
 Sistema de coordenadas: -- predeterminado --
 Densidad = 0.01 gramos por milímetro cúbico
 Masa = 130016.74 gramos
 Volumen = 16520550.97 milímetros cúbicos
 Área de superficie = 3175043.17 milímetros cuadrados

Figura 15-3: Propiedades Físicas de la Compuerta

Fuente: SILVA CONDE, Angel Alberto, 2016

Partiendo de la masa mostrada en la (Figura 15-3), se obtiene:

$$F_c = m * g$$

Dónde:

F_c : Peso de la compuerta, (N)

m : Masa de la Compuerta, $m = 130\,kg$

g : Aceleración de la gravedad, $g = 9.8\,m/s^2$

$$F_c = m * g$$

$$F_c = 130\,kg * 9.8\,\frac{m}{s^2}$$

$$F_c = 1\,274\,N$$

Por lo tanto, la carga de que tendrá que elevar el sistema será:

$$F = f_r + F_c$$

$$F = 26\,324.8\,N + 1\,274\,N$$

$$F = 27\,598.8\,N$$

3.4.2. *Diseño del tornillo de potencia*

Para realizar el diseño del tornillo de potencia es necesario saber cuál es la carga a elevar y si este sube y baja con carga o sube con carga y baja sin carga, además de saber el material del tornillo y la tuerca, así como que tipo de rosca es el tornillo de potencia.

3.4.2.1. *Torque necesario para subir y bajar la compuerta*

Para permitir que el tornillo de potencia eleve la carga o la baje, se requiere de un torque, el cual es generado por un motor, estos torques se los puede calcular con las siguientes ecuaciones:

$$T_s = \frac{F * d_m}{2} \left(\frac{\mu * \pi * d_m + \rho}{\pi * d_m - \mu * \rho} \right) + \frac{F * d_c * \mu_c}{2}$$

$$T_b = \frac{F * d_m}{2} \left(\frac{\mu * \pi * d_m - \rho}{\pi * d_m + \mu * \rho} \right) + \frac{F * d_c * \mu_c}{2}$$

Donde:

T_s : Torque para subir la carga, (Nm)

T_b : Torque para bajar la carga, (Nm)

F : Carga aplicada al tornillo de potencia, $F = 27.6\,kN$

d_m : Diámetro medio del tornillo de potencia, (mm)

d_c : Diámetro del collarín, $d_c = 42\,mm$

μ : Coeficiente de fricción entre el tornillo y la tuerca, $\mu = 0.08$

μ_c : Coeficiente de fricción entre el tornillo y el collarín, $\mu_c = 0.08$

ρ : Avance del tornillo por cada vuelta, $\rho = 8\,mm$

Calculamos el diámetro medio del tornillo

$$d_m = d - p/2$$

Donde:

d : Diámetro mayor del Tornillo de Potencia, $d = 38 \text{ mm}$

p : Paso de la Rosca del Tornillo de Potencia, $p = 4 \text{ mm}$

$$d_m = 38 \text{ mm} - \frac{4 \text{ mm}}{2}$$

$$d_m = 36 \text{ mm}$$

Reemplazando en las ecuaciones de torque, tenemos:

$$T_s = \frac{F * d_m}{2} \left(\frac{\mu * \pi * d_m + \rho}{\pi * d_m - \mu * \rho} \right) + \frac{F * d_c * \mu_c}{2}$$

$$T_s = \frac{27.6 \text{ kN} * 32 \text{ mm}}{2} \left(\frac{0.08 * \pi * 32 \text{ mm} + 8 \text{ mm}}{\pi * 32 \text{ mm} - 0.08 * 8 \text{ mm}} \right) + \frac{27.6 \text{ kN} * 42 \text{ mm} * 0.08}{2}$$

$$T_s = 71.0 \text{ N} + 46.4 \text{ N}$$

$$T_s = 117.4 \text{ Nm}$$

$$T_b = \frac{F * d_m}{2} \left(\frac{\mu * \pi * d_m - \rho}{\pi * d_m + \mu * \rho} \right) + \frac{F * d_c * \mu_c}{2}$$

$$T_b = \frac{27.6 \text{ kN} * 32 \text{ mm}}{2} \left(\frac{0.08 * \pi * 32 \text{ mm} - 8 \text{ mm}}{\pi * 32 \text{ mm} + 0.08 * 8 \text{ mm}} \right) + \frac{27.6 \text{ kN} * 42 \text{ mm} * 0.08}{2}$$

$$T_b = 0.2 \text{ Nm} + 46.3 \text{ Nm}$$

$$T_b = 46.5 \text{ Nm}$$

3.4.2.2. *Análisis de esfuerzos del tornillo de potencia*

Puesto a que el tornillo de potencia está sometido a torsión y compresión, se realiza los respectivos análisis considerando además que el tornillo sube y baja cargado, por medio del siguiente análisis a torsión.

$$\tau_{max} = \frac{16 * T_s * 10^3}{\pi * d_t^3}$$

$$\tau_{min} = \frac{16 * T_b * 10^3}{\pi * d_t^3}$$

Donde:

τ_{max} : Esfuerzo de Torsión máximo, (MPa)

τ_{min} : Esfuerzo de Torsión mínimo, (MPa)

d_t : Diámetro de tracción del tornillo de potencia, (mm)

Calculamos el diámetro de tracción

$$d_t = d - p$$

Donde:

d : Diámetro mayor del Tornillo de Potencia, $d = 38 \text{ mm}$

p : Paso de la Rosca del Tornillo de Potencia, $p = 4 \text{ mm}$

$$d_t = 38 \text{ mm} - 4 \text{ mm}$$

$$d_t = 34 \text{ mm}$$

Calculo del esfuerzo de torsión del tornillo:

$$\tau_{max} = \frac{16 * T_s}{\pi * d_t^3}$$

$$\tau_{max} = \frac{16 * 117.4 \text{ Nm} * 10^3}{\pi * (34 \text{ mm})^3}$$

$$\tau_{max} = 15.2 \text{ MPa}$$

$$\tau_{min} = \frac{16 * T_b}{\pi * d_t^3}$$

$$\tau_{min} = \frac{16 * 46.5 \text{ Nm} * 10^3}{\pi * (34 \text{ mm})^3}$$

$$\tau_{min} = 6.0 \text{ MPa}$$

Calculo del esfuerzo, amplitud y medio de torsión:

$$\tau_a = \frac{\tau_{max} - \tau_{min}}{2}$$

$$\tau_m = \frac{\tau_{max} + \tau_{min}}{2}$$

Donde:

τ_a : Esfuerzo amplitud de torsión, (MPa)

τ_m : Esfuerzo medio de torsión, (MPa)

$$\tau_a = \frac{15.2 \text{ MPa} - 6.0 \text{ MPa}}{2}$$

$$\tau_a = 4.6 \text{ MPa}$$

$$\tau_m = \frac{15.2 \text{ MPa} + 6.0 \text{ MPa}}{2}$$

$$\tau_m = 10.6 \text{ MPa}$$

Análisis a Torsión:

$$\sigma_{max} = \frac{4 * F}{\pi * d_t^2}$$

$$\sigma_{min} = \frac{4 * F}{\pi * d_t^2}$$

Donde:

σ_{max} : Esfuerzo de Compresión máximo, (MPa)

σ_{min} : Esfuerzo de Compresión mínimo, (MPa)

d_t : Diámetro de tracción del tornillo de potencia, (mm)

$$\sigma_{max} = \frac{4 * F}{\pi * d_t^2}$$

$$\sigma_{max} = \frac{4 * (27.6 \text{ kN}) * 10^3}{\pi * (34 \text{ mm})^2}$$

$$\sigma_{max} = 30.3 \text{ Mpa}$$

$$\sigma_{min} = \frac{4 * F}{\pi * d_t^2}$$

$$\sigma_{min} = \frac{4 * (27.6 \text{ kN}) * 10^3}{\pi * (34 \text{ mm})^2}$$

$$\sigma_{min} = 30.3 \text{ MPa}$$

Calculo del esfuerzo, amplitud y medio de compresión:

$$\sigma_a = \frac{\sigma_{max} - \sigma_{min}}{2}$$

$$\sigma_m = \frac{\sigma_{max} + \sigma_{min}}{2}$$

Donde:

σ_a : Esfuerzo amplitud de compresión, (MPa)

σ_m : Esfuerzo medio de compresión, (MPa)

$$\sigma_a = \frac{30.3 \text{ MPa} - 30.3 \text{ MPa}}{2}$$

$$\sigma_a = 0$$

$$\sigma_m = \frac{30.3 \text{ MPa} + 30.3 \text{ MPa}}{2}$$

$$\sigma_m = 30.3 \text{ MPa}$$

Se calcula los esfuerzos equivalentes amplitud y medio:

$$\sigma_{eqa} = \sqrt{\sigma_a^2 + 3 * \tau_a^2}$$

$$\sigma_{eqm} = \sqrt{\sigma_m^2 + 3 * \tau_m^2}$$

Donde:

σ_{eqa} : Esfuerzo equivalente amplitud, (MPa)

σ_{eqm} : Esfuerzo equivalente medio, (MPa)

$$\sigma_{eqa} = \sqrt{\sigma_a^2 + 3 * \tau_a^2}$$

$$\sigma_{eqa} = \sqrt{0^2 + 3(4.6 \text{ MPa})^2}$$

$$\sigma_{eqa} = 8.0 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{eqm} = \sqrt{\sigma_m^2 + 3 * \tau_m^2}$$

$$\sigma_{eqm} = \sqrt{(30.3 \text{ MPa})^2 + 3(10.6 \text{ MPa})^2}$$

$$\sigma_{eqm} = 35.4 \text{ MPa}$$

3.4.2.3. *Factor de seguridad del tornillo*

Para realizar el diseño a fatiga se utilizará la ecuación de Soderberg:

$$\frac{\sigma_{eqa}}{S_e} + \frac{\sigma_{eqm}}{S_y} = \frac{1}{\eta}$$

Donde:

S_e : Límite de fatiga del material del tornillo, (MPa)

S_y : Esfuerzo a la fluencia $S_y = 310 \text{ MPa}$

η : Coeficiente de seguridad, se recomienda q sea mayor a 2 ($\eta \geq 2$)

Límite de Fatiga

$$S_e = k_c * k_e * S_e'$$

Donde:

k_c : Factor de confiabilidad (99% de confiabilidad), figura 1, $k_c = 0.814$

k_e : Factor de concentración de esfuerzos modificado, $k_e = \frac{1}{k_f} = 0.357$

k_f : Factor de concentración de esfuerzos, 2.8 para rosca cortadas.

S_e' : Límite de resistencia a la fatiga, $S_e' = 0.45 * S_{ut}$

S_{ut} : Esfuerzo ultimo de tracción, Acero AISI 4340 $S_{ut} = 565 \text{ MPa}$

Calculamos el Límite de resistencia de fatiga del material:

$$S_e' = 0.45 * S_{ut}$$

$$S_e' = 0.45 * 565 \text{ MPa}$$

$$S_e' = 254.3 \text{ MPa}$$

Calculamos el límite de fatiga del material

$$S_e = k_c * k_e * S_e'$$

$$S_e = 0.814 * 0.357 * 254.3 \text{ MPa}$$

$$S_e = 73.9 \text{ MPa}$$

Reemplazando los resultados anteriores, calculamos el factor de seguridad del tornillo de potencia.

$$\frac{\sigma_{eqa}}{S_e} + \frac{\sigma_{eqm}}{S_y} = \frac{1}{\eta}$$

$$\eta = 4.5$$

El factor de seguridad es mayor al requerido, lo que indica que el tornillo de potencia no sufrirá fallas de resistencia.

3.4.3. Selección del motorreductor

Para el funcionamiento del sistema se seleccionó un motorreductor, el cual fue seleccionado partiendo de los requerimientos de la potencia de salida requerida para el sistema.

$$P_{ent} = \frac{T * N}{\eta}$$

Donde:

T : Torque necesario de funcionamiento, $T = 117.4 \text{ Nm}$

N : Velocidad angular requerida, $N = 55 \text{ rpm} = 5.8 \text{ rad/s}$

η : Rendimiento, $\eta = 90\%$

$$P_{ent} = \frac{117.4 \text{ Nm} * 5.8 \text{ rad/s}}{0,9} = 756.6 \text{ W}$$

Con el catalogo “Rossi E04” se selecciona el siguiente motor reductor.

P_1 kW	n_1 min ⁻¹	M_1 daNm	f_s	Riduttore - Motore Gear reducer - Motor	i	
1)				2)		
0,75	9,36	73	1,8	MR 3I 100 - 90 S	6	96,2
	9,36	73	2,36	MR 3I 101 - 90 S	6	96,2
	56,1	12,3	1,25	MR 3I 50 - 80 B	4	25
	56,1	12,3	1,7	MR 3I 51 - 80 B	4	25
	57,7	12,2	2,12	MR 2I 63 - 80 B	4	24,3
	60	11,5	2,8	MR 3I 63 - 80 B	4	23,3
	60,5	11,6	1,06	MR 2I 50 - 80 C	6	14,9
	61,6	11,2	1,32	MR 3I 50 - 80 B	4	22,7
	61,6	11,2	1,9	MR 3I 51 - 80 B	4	22,7

Figura 16-3: Catalogo motorreductores Rossi

Fuente: (ROSSI, 2016)

Con las condiciones expuestas se selecciona un motorreductor “Rossi” de 0,75 kW con 56.1 rpm y torque de 12.3 Nm designado MR 3I 50 80 B, con lo cual se cumple con los requerimientos del sistema mecánico.

3.4.4. *Diseño de la transmisión de cadena*

Para poder transmitir el torque necesario generado por el motor para que el tornillo de potencia cumpla su función, es necesario disponer de una transmisión de cadena.

3.4.4.1. *Potencia de funcionamiento*

$$P = T \cdot \omega$$

Donde:

P : Potencia de funcionamiento,

T : Torque máximo de funcionamiento del tornillo de potencia, $T = 117.4 \text{ Nm}$

ω : Velocidad Angular de la rueda conducida, $\omega = 56.1 \text{ rpm}$

$$P = 117.4 \text{ Nm} * 5.8 \text{ rad/s}$$

$$P = 680.9 \text{ W} = 0.912 \text{ Hp}$$

Factor de servicio (c):

Tabla 3-3: Factor de Servicio

Maquinaria	Factor de servicio	
Carga Uniforme, sin inversión	1,0	1,0
Carga pulsante moderada, sin inversión	1,2	1,3
Carga variable o de grave impacto, con inversión	1,4	1,5

Fuente: (REXNORD, 2016)

$$c = 1,5$$

Corrección de Potencia de Diseño:

$$P_D = P * c$$

$$P_D = 0.912 \text{ Hp} * (1,5)$$

$$P_D = 1.368 \text{ Hp}$$

Obtenido la potencia de diseño y con los datos de velocidad angular de la rueda pequeña y el número de hileras de cadena, se selecciona el tipo de cadena.

Con la potencia de diseño, el número de hileras y la velocidad angular en la rueda pequeña se selecciona el tipo de cadena.

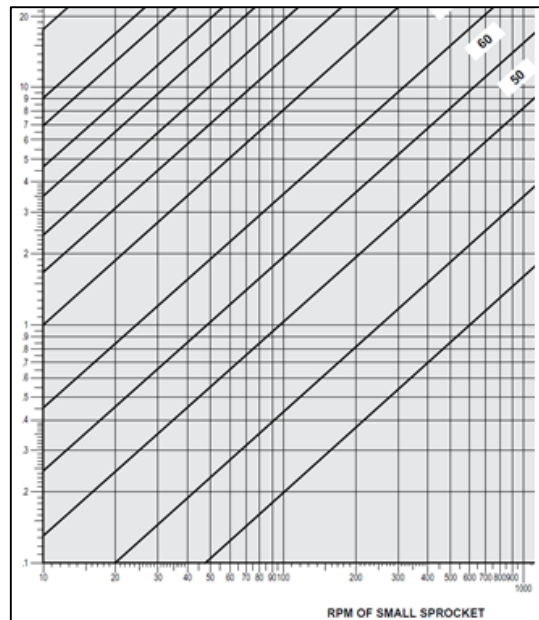


Figura 17-3: Guía para la selección de cadenas
Fuente: (REXNORD, 2016)

Se ha seleccionado una cadena de una hilera Rexnord #60, paso 0.75 in y 84 eslabones; y con las ruedas dentadas de 17 y 50 dientes.

3.5. Diseño y montaje eléctrico

3.5.1. Tablero y protecciones

El sistema de control automático está basado en un gabinete con dimensiones 60x40x20 (Figura 18-3), en su interior están instalados elementos de protección, sensores, control, interfaz de usuario y etapa de fuerza.

En función a la potencia necesaria calculada para el accionamiento del sistema mecánico se precisa el uso de protecciones para todo el sistema eléctrico por medio de un breaker de 3 polos 4 Amp y un guardamotor de 18 Amp (Figura 18-3).

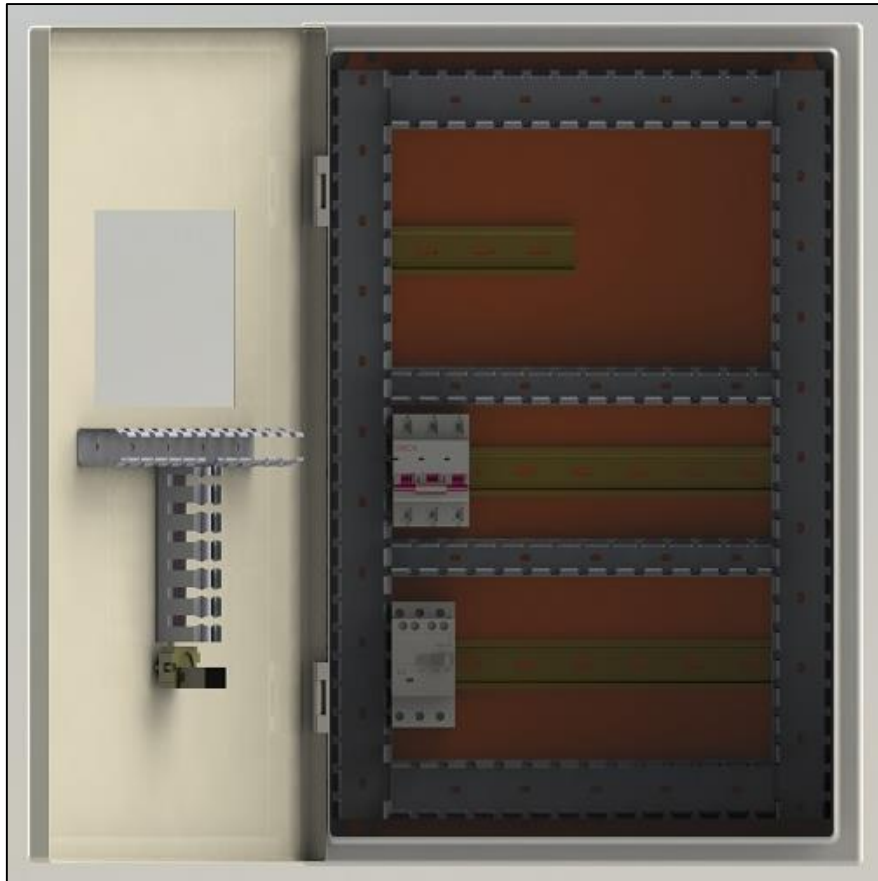


Figura 18-3: Tablero de control con elementos de protección eléctrica
Fuente: SILVA CONDE, Angel Alberto, 2016

3.5.2. *Montaje del variador de frecuencia y diagrama eléctrico*

El guardamotor se conecta antes de la alimentación del variador de frecuencia (Figura 19-3) en una configuración serie para protección del equipo. La corriente máxima de consumo en la red de un motor trifásico por medio del variador de frecuencia es de 19.4 amperios, es una corriente alta que en cierta manera compensa la falta de voltaje en la red con la relación, a menor voltaje mayor consumo de corriente con un motor trifásico que funciona a 220V red trifásica, este voltaje se obtiene por intermedio del variador de frecuencia a partir de una red de 110V monofásica.



Figura 19-3: Tablero de control con la etapa de fuerza (Variador de Frecuencia)

Fuente: SILVA CONDE, Angel Alberto, 2016

3.5.3. *Montaje de la fuente de alimentación en corriente directa*

La polarización de los diferentes pines del variador de frecuencia para interpretar señales de control se deben hacer en función al voltaje que entrega una fuente de poder de corriente directa (Figura 20-3) la cual energiza elementos sensores, relés y demás señales de entrada referenciadas a 0V.



Figura 20-3: Tablero con la fuente de alimentación en DC SITOP 5A
Fuente: SILVA CONDE, Angel Alberto, 2016

3.5.4. *Relé programable con control de tiempo*

Para que el sistema automatizado pueda realizar acciones de apertura y cierre a horas determinadas es muy importante que existan dispositivos que manejen la variable del tiempo y entreguen señales programables según la necesidad como en el caso del sistema automático del reservorio 66 se requiere que la válvula de compuerta distribuya agua desde una hora específica en la mañana y corte la distribución a otra hora de la tarde según la programación de los usuarios.

Existen cuatro relés de tiempo (Figura 21-3) programables de los cuales dos son para un horario regular de lunes a viernes y los dos relés de tiempo restantes son para ejecutar rutinas diferentes en un horario de fin de semana. Esta diferencia de la programación de la distribución del agua entre los días laborables y el fin de semana se debe fundamentalmente a que la demanda es menor en los días sábados y domingos.



Figura 21-3: Tablero con elementos para el control de tiempo
Fuente: SILVA CONDE, Angel Alberto, 2016

3.5.5. *Montaje del plc con conexión de entradas y salidas físicas*

Un sistema totalmente automatizado se considera como un proceso que incorpora una unidad de memoria capaz de adquirir las variables y procesarlas para obtener un resultado a la salida en función a uno o varios objetivos. El tablero de control incorpora un PLC (Figura 22-3) que ejecuta instrucciones grabadas por el programador para cumplir con el proceso de apertura y cierre de las válvulas principales del reservorio.

El PLC además ofrece seguridad a los mecanismos y actuadores por medio del programa de tal manera que, si el operario no se percata del estado de la válvula y repite el proceso puede averiar seriamente los actuadores y/o dañar los mecanismos, porque una válvula que por ejemplo se encuentra cerrada no puede volver a cerrarse o viceversa.

Como una protección adicional a los contactos de relé que incorpora el PLC se ha colocado unos relés con bobina a 24Vdc y contactos que soportan hasta los 10 Amp (Figura 23-.3).



Figura 22-3: Montaje del PLC S7 1200
Fuente: SILVA CONDE, Angel Alberto, 2016



Figura 23-3: Incorporación de un PLC al tablero de control
Fuente: SILVA CONDE, Angel Alberto, 2016

3.5.6. *Montaje de elementos que componen de la red Profinet*

La comunicación con el PLC por medio de un lenguaje visual e intuitivo que permita al usuario modificar las condiciones de funcionamiento del proceso se lo puede lograr por medio de una pantalla táctil HMI (Figura 24-3). La conexión entre los dos equipos se puede realizar de manera directa y programando cada dispositivo de forma individual pero por facilidad y ahorro de tiempo en la programación se ha utilizado un switch industrial Ethernet de cuatro puertos que comunica a los dispositivos por medio del protocolo Profinet, la pantalla, el PLC y el Ordenador pueden esta comunicados al mismo tiempo y además utilizar monitoreo en línea para verificar que el estado de las variable físicas o memorias sea el correcto.



Figura 24-3: Dispositivos de red para el PLC y HMI
Fuente: SILVA CONDE, Angel Alberto, 2016

3.5.7. *Montaje y puesta en marcha del módulo de comunicaciones gsm + antena 4g lte*

El acceso al control y estados del funcionamiento del sistema automatizado se lo puede realizar por medio de distintas tecnologías como por ejemplo, una aplicación en el teléfono celular, una página web por medio de un servidor alojado en el PLC, un radio enlace con antenas y línea de vista, entre otras, se presentaron todas las opciones a los usuarios, sugirieron un control que les permita saber en tiempo real lo que ocurre en la reserva 66, descartaron las opciones antes presentadas porque suelen transitar de un lugar a otro y no poseen un celular inteligente para poder mantener un plan de datos además desconocen del manejo de esa tecnología, el control y monitoreo al que los usuarios pueden acceder fácilmente es por medio de mensajes de texto (Figura 25-3) según su recomendación, por tal razón se implementó un sistema de comunicación por medio de la red GSM accediendo a él por medio de un módulo de comunicaciones CP1242-

7 de estándar industrial, compatible con el PLC S7 1200, el módulo al ser de estándar industrial no tiene problemas con la desprogramación del mismo por motivos de ruido eléctrico, electromagnético e incorpora opciones de software para la seguridad en el acceso al módulo.

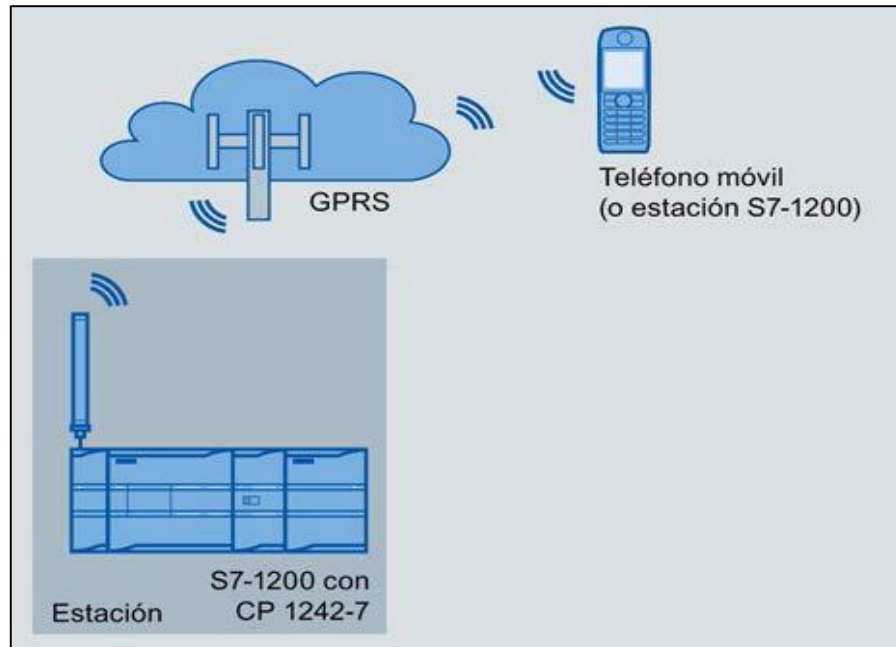


Figura 25-3: Envío de SMS de una estación S7-1200

Fuente: (SIEMENS, Instrucciones de Servicio S7-1200 - TeleControl CP1242-7, 2016)

La puesta en marcha del módulo CP 1242-7 depende de la correcta instalación del dispositivo de red tanto en sus componentes internos como en la incorporación al PLC. Los siguientes pasos son fundamentales para un correcto funcionamiento y anclaje a la red. (SIEMENS, Instrucciones de Servicio S7-1200 - TeleControl CP1242-7, 2016)

- Expulsar la unidad de la tarjeta SIM de la parte inferior del módulo (2) CP aplastando el pulsador de desenclave (1)

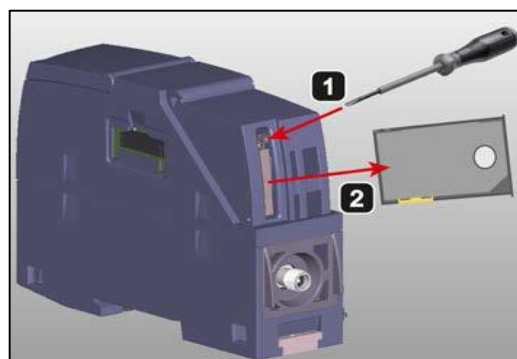


Figura 26-3: Desmontaje de la base porta chip

Fuente: SIEMENS, Instrucciones de Servicio S7-1200

- Colocar la tarjeta SIM en el porta Chip (3)

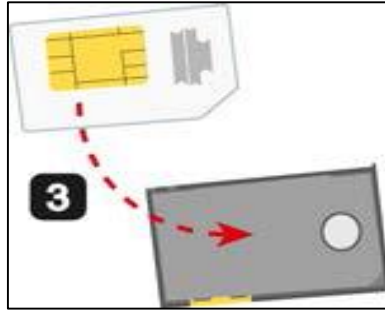


Figura 27-3: Tarjeta SIM en la base porta chip
Fuente: SIEMENS, Instrucciones de Servicio S7-1200

- Insertar la tarjeta SIM en el módulo GSM (4)

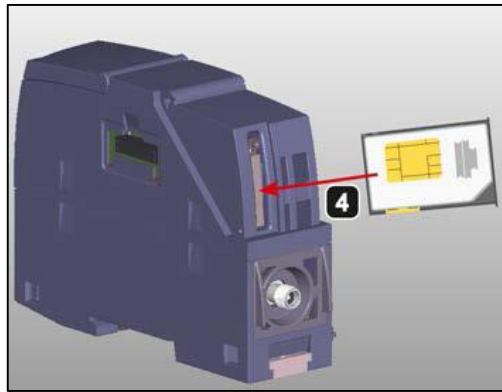






Figura 28-3: Ingreso del chip al módulo GSM
Fuente: SIEMENS, Instrucciones de Servicio S7-1200

3.5.8. *Informe del estado operativo del CP 1242-7*

Dependiendo de varios factores existen señales visuales que el modem comunica por medio del estado de sus leds para dar a conocer si está anclado a la red, si tiene una correcta conexión en el modo telecontrol, la calidad de la señal en el sitio de instalación según la cobertura de la operadora y si está establecida la configuración en el modo Teleservice.

Tabla 4-3: Estado de los leds del módulo GSM

LED/Colores	Denominación	Significado
 rojo/verde	NETWORK	Estado de la conexión de red
 verde	CONNECT	Estado de la conexión con el servidor de Telecontrol
 amarillo/verde	SIGNAL QUALITY	Calidad de la señal de la red GSM
 verde	TELESERVICE	Estado de la conexión al TeleService

Fuente: (SIEMENS, Instrucciones de Servicio S7-1200 - TeleControl CP1242-7, 2016)

3.5.9. *Montaje del módulo de comunicación GSM y antena 4G LTE en el tablero de control*

Los módulos de comunicación como lo son RS232, RS485, PROFIBUS y el módulo GSM se conectan en el lado derecho del PLC, la representación en un diagrama CAD (Figura 29-3) muestra al módulo CP 1242-7 instalado de manera adecuada con su respectiva antena para la detección de la red móvil seleccionada.



Figura 29-3: Montaje del módulo GSM y Antena

Fuente: SILVA CONDE, Angel Alberto, 2016

3.5.10. *Tablero de control para el ingreso de agua a la reserva*

Para el control de ingreso de agua al reservorio se tiene una válvula de mariposa conectada a un motorreductor con una potencia de 1 Hp en reemplazo de una válvula de similares características que posee un tablero (Figura 30-3) con un variador de frecuencia para el sistema de potencia y pulsadores para el funcionamiento manual, automático, abrir cerrar y paro de emergencia, el controlador de este sistema es un LOGO! 8 230RCE un guardamotor y un breaker como protección



Figura 30-3: Tablero de control para el ingreso de agua
Fuente: SILVA CONDE, Angel Alberto, 2016

3.6. **Adquisición de datos de las variables a los controladores**

Los datos presentes en el reservorio 66 son del tipo digital, en los mecanismos con motorreductor se define el mismo método de adquisición de datos por conteo de pulsos (Figura 31-3) para determinar la posición de las válvulas, el sensor que capta este tipo de señales es del tipo inductivo (Figura 32-3) e ingresa directamente al controlador lógico programable.



Figura 31-3: Sensor inductivo en la válvula mariposa
Fuente: SILVA CONDE, Angel Alberto, 2016



Figura 32-3: Sensor inductivo en la válvula de compuerta
Fuente: SILVA CONDE, Angel Alberto, 2016

El nivel del tanque se obtiene por un sensor con tres nodos de referencia y salida a relé (Figura 33-3) que internamente hace la comparación y entrega un estado en alto cuando el nivel del reservorio ha alcanzado el máximo y por el contrario entrega un estado en bajo cuando el nivel disminuya hasta la sonda de referencia intermedia. El tipo de control realizado en el reservorio para el nivel fue por histéresis, en base a los rangos de accionamiento definidos por el usuario de tal manera que al reducir la distancia entre las sondas E1 y E2 puede mantener el nivel dentro de un rango de mayor estabilidad.

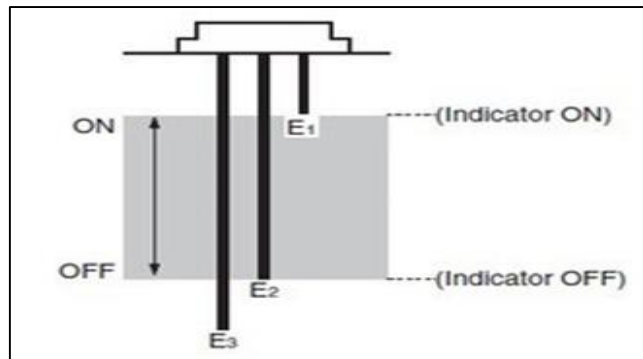


Figura 33-3: Funcionamiento del sensor para control de nivel
Fuente: SILVA CONDE, Angel Alberto, 2016

3.7. Programación del PLC S7-1200

El programa está diseñado de tal manera que es capaz de interpretar por medio de su lógica interna cuando un operario ingresa los datos de manera errónea evitando así, daños en el sistema mecánico, las condiciones iniciales se deben respetar manteniendo un orden en la ejecución de las tareas.

La programación del PLC se realizó en el software TIA Portal, que es un software totalmente integrado para el manejo y programación de una variedad de dispositivos SIEMENS, incorporando además un Run Time para configuración de paneles de operador

La interfaz que presenta el software es intuitiva y facilita la gestión y procesamiento de la información por medio del uso de bases de datos y bloques de función en los cuales se puede programar rutinas que se ejecutan de manera repetitiva llamándolos solamente cuando se los requiere sin la necesidad de la presencia en varias ubicaciones del programa principal.

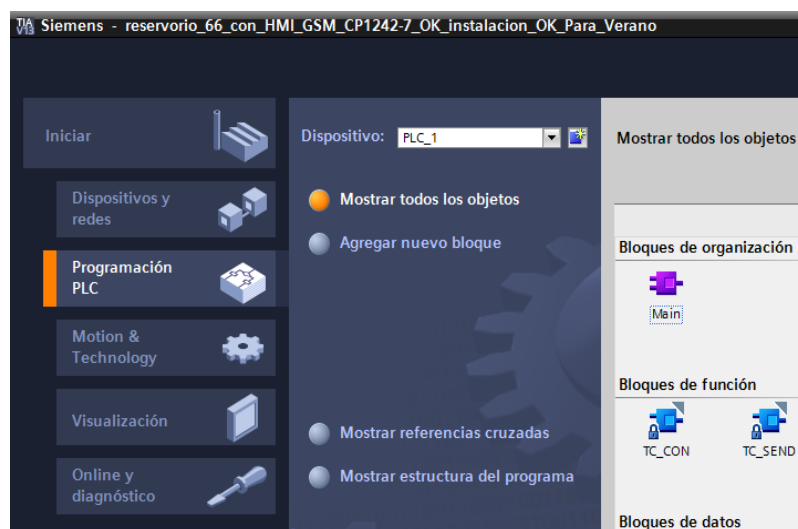


Figura 34-3: Entorno de programación
Fuente: SILVA CONDE, Angel Alberto, 2016

El entorno de programación ofrece opciones para realizar casi todo tipo de tarea en el campo de la automatización, desde configurar un dispositivo, programar el PLC, agregar y configurar objetos tecnológicos como PID y control de movimiento y finalmente configuración de paneles HMI para tareas de control y monitoreo en el lugar del proceso.

El programa del PLC contiene varios segmentos dedicados a cumplir con la automatización y control a distancia de las funciones dentro del reservorio como inicio de un proceso manual y automático, seguridades durante la operación, control y monitoreo por GSM a distancia y local por medio de una HMI, ingreso de parámetros de funcionamiento.

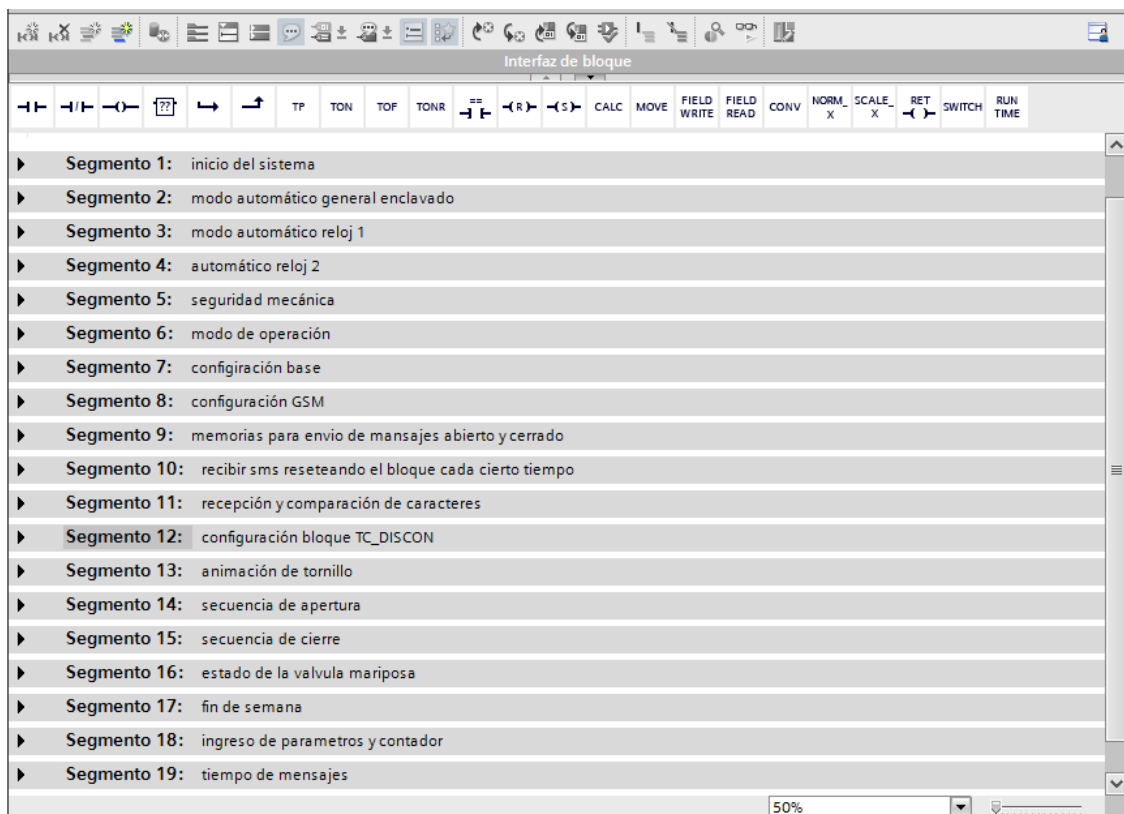


Figura 35-3: Segmentos de programación del PLC

Fuente: SILVA CONDE, Angel Alberto, 2016

La programación fue realizada en el lenguaje escalera (Figura 36-3), en el PLC se puede programar en lenguajes distintos como compuertas, lista de instrucciones, programación con bloques secuenciales, etc.

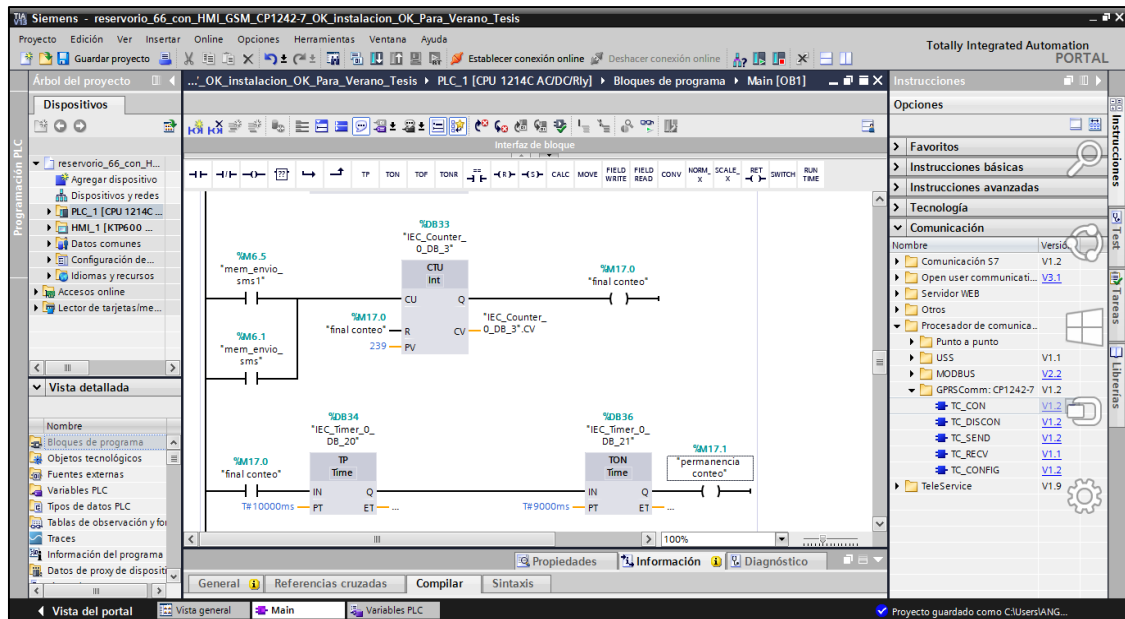


Figura 36-3: Ejemplo de programación lenguaje escalera, contactos, contadores, temporizadores y bobinas

Fuente: SILVA CONDE, Angel Alberto, 2016

3.8. Configuración de la red GSM/GPRS dentro del PLC

Para que el sistema automático pueda enviar notificaciones por medio del controlador necesita un módulo de comunicaciones GSM/GPRS CP1242-7 (Figura 37-3), este módulo tiene que ser configurado con características similares a un teléfono celular.

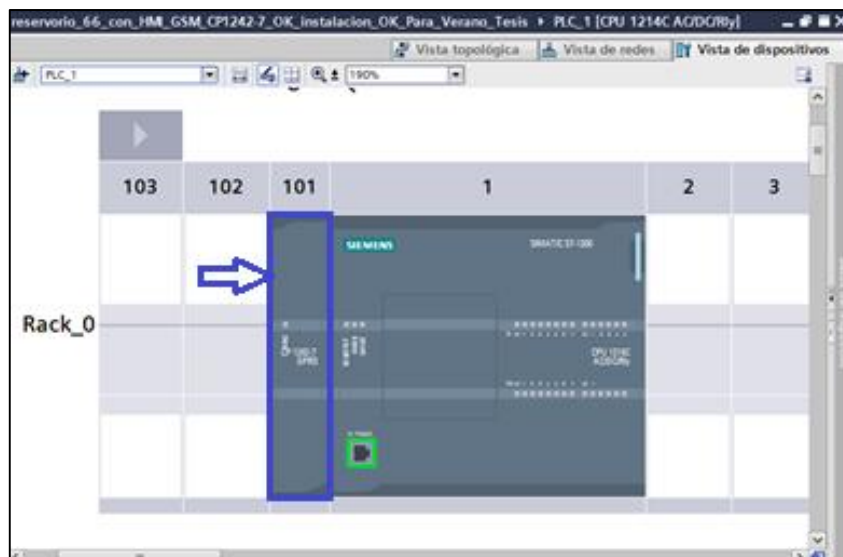


Figura 37-3: Módulo de comunicación GSM/GPRS CP1242-7

Fuente: SILVA CONDE, Angel Alberto, 2016

El CP 1242-7 tiene la capacidad para operar en el modo telecontrol como una estación que puede comunicar los estados de su proceso a un SCADA remoto y la configuración como GPRS directo (Figura 38-3) permite el control por medio de mensajes de texto.

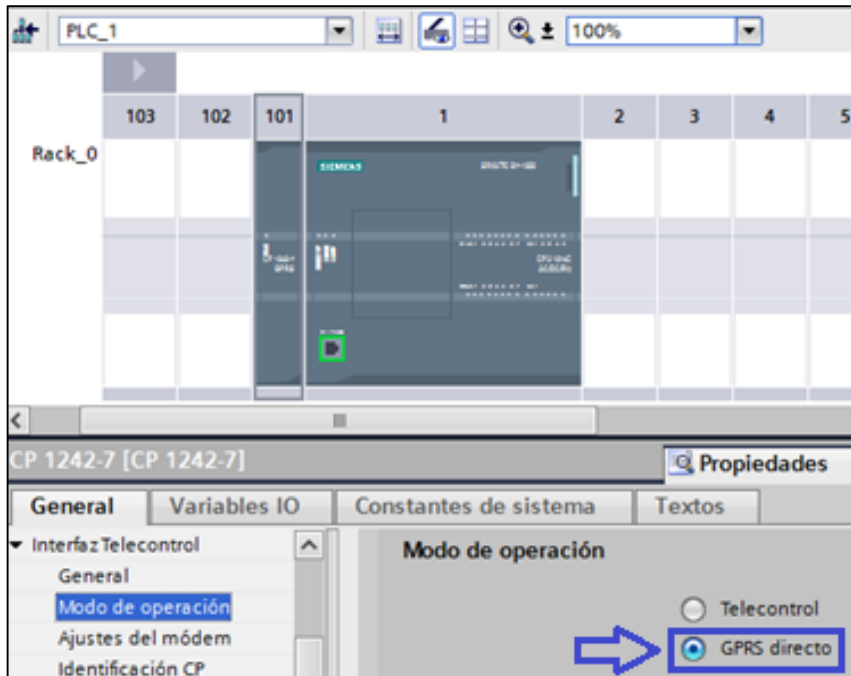


Figura 38-3: Modo de operación del CP 1242-7

Fuente: SILVA CONDE, Angel Alberto, 2016

Los ajustes del modem GSM para darle características de un teléfono celular en cuanto a la comunicación por SMS se debe hacer ingresando el código PIN del Chip ingresado y el número de centro de servicios de la operadora a la cual pertenece el chip.

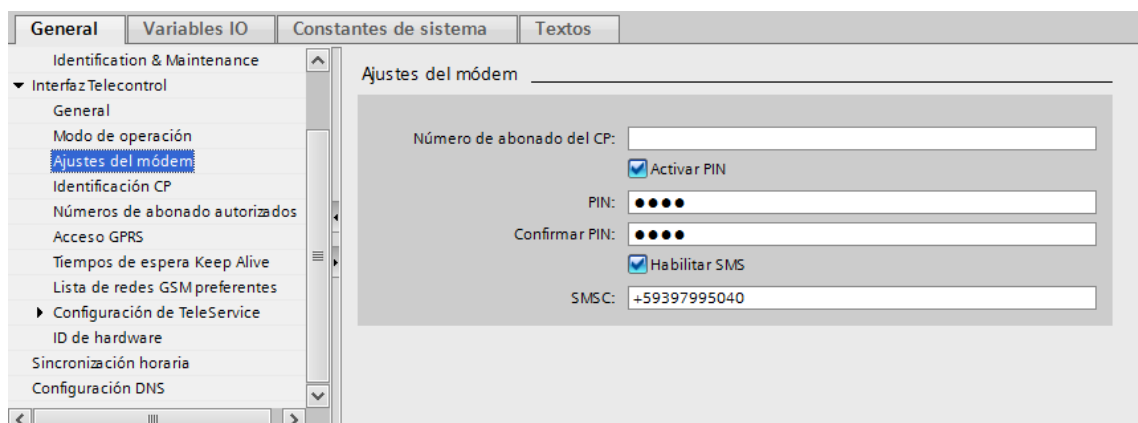


Figura 39-3: Ajustes de modem

Fuente: SILVA CONDE, Angel Alberto, 2016

Finalmente por cuestiones de seguridad para la ejecución del proceso automático se debe ingresar el/los números telefónicos autorizados para el control del reservorio, hasta un máximo de 10 números de teléfono (Figura 40-3).

Las condiciones de servicio que tiene el modem, a parte de la configuración de los parámetros ya mencionados es que para operar entregando notificaciones el chip debe contar con un paquete de mensajes activo o tener acreditado un valor en su cuenta móvil.

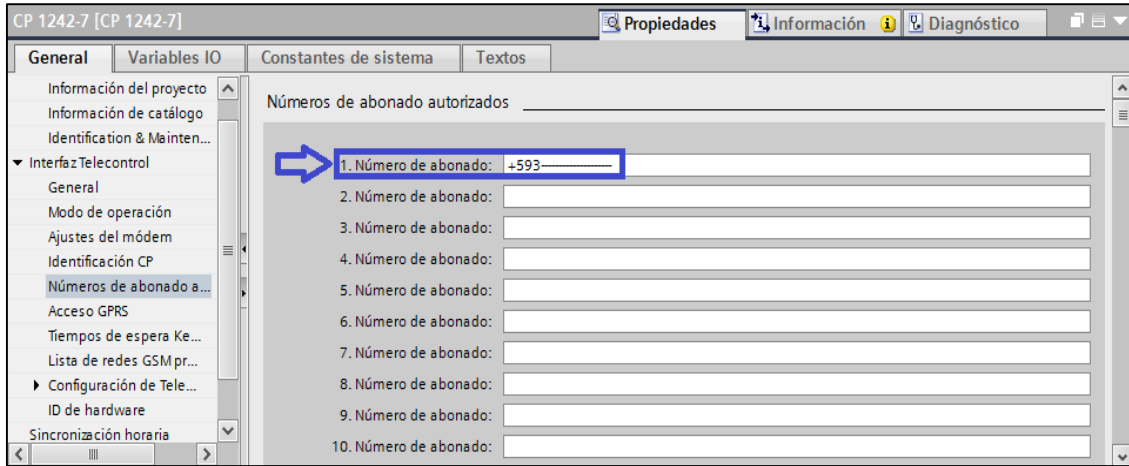


Figura 40-3: Números abonados autorizados

Fuente: SILVA CONDE, Angel Alberto, 2016

Dentro del programa del PLC se puede llamar a bloques de configuración para la conexión del modem a la red GPRS como el TC_CON, TC_DISCON, TC_SEND, TC_RECV y TC_CONFIG (Figura 41-3) que se encuentran dentro de la carpeta de comunicación de las instrucciones para la programación.

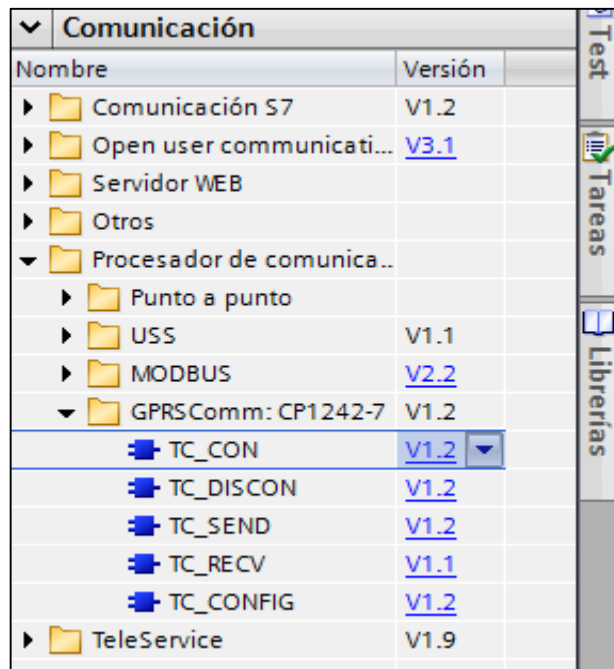


Figura 41-3: Bloques de programación para el modem

Fuente: SILVA CONDE, Angel Alberto, 2016

3.9. Programación del controlador logo V8

El tablero de control de ingreso tiene como elemento principal de control un LOGO! V8, el programa se desarrolló en el programa LOGO!Soft Comfort V8.0.

El lenguaje escalera fue utilizado una vez más para la programación en el reservorio 66 el cual controla la apertura y cierre de la válvula de mariposa según la posición detectada en base a los bloques de conteo programados.

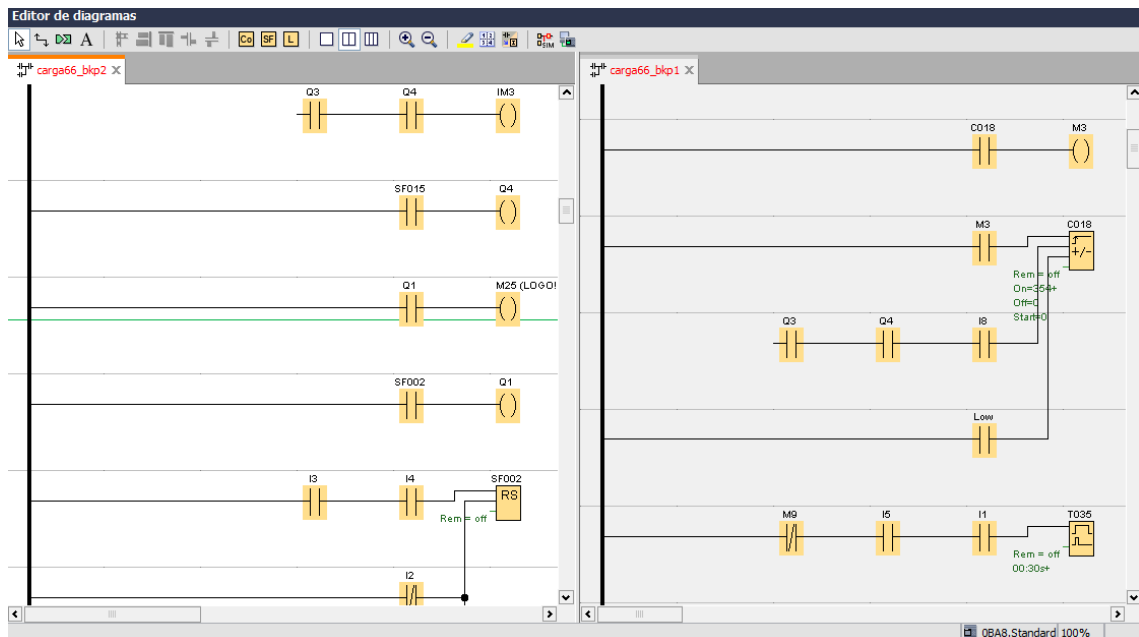


Figura 42-3: Programa que controla la válvula mariposa

Fuente: SILVA CONDE, Angel Alberto, 2016

3.10. Programación de la red industrial Profinet

El uso de la red Profinet o Ethernet industrial comunica al PLC con la pantalla HMI para el intercambio de información o variables por medio del direccionamiento IP, la cantidad de variables a comunicar por un sistema cableado es limitada, mientras que por medio de la red se puede enviar y recibir información o estados de las variables de cualquier tipo en gran cantidad, solamente limitado por la cantidad de variables que pueda alojar un PLC y el panel de operador de forma individual ya que el puerto no se puede saturar con información que procesa datos con un mínimo de memoria en el orden de los KB, es una de las ventajas que ofrece la red mencionando además que el camino de la comunicación entre más de dos dispositivos, en este caso para el computador, incorpora un switch industrial CSM 1277 para realizar la programación tanto de la pantalla como del PLC sin la necesidad de desconectarlos entre sí.

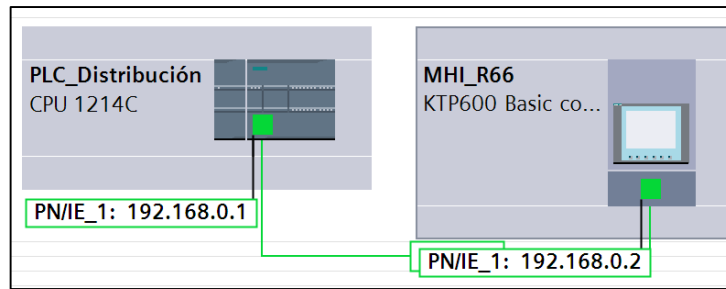


Figura 43-3: Comunicación PLC - HMI por Profinet
Fuente: SILVA CONDE, Angel Alberto, 2016

3.11. Interfaz de usuario

La interfaz presentada a los usuarios (Figura 44-3) está en función a sus propios requerimientos, como el uso de un menú en el que se pueda observar el estado de las válvulas, ingreso de parámetros y el control automático y manual.

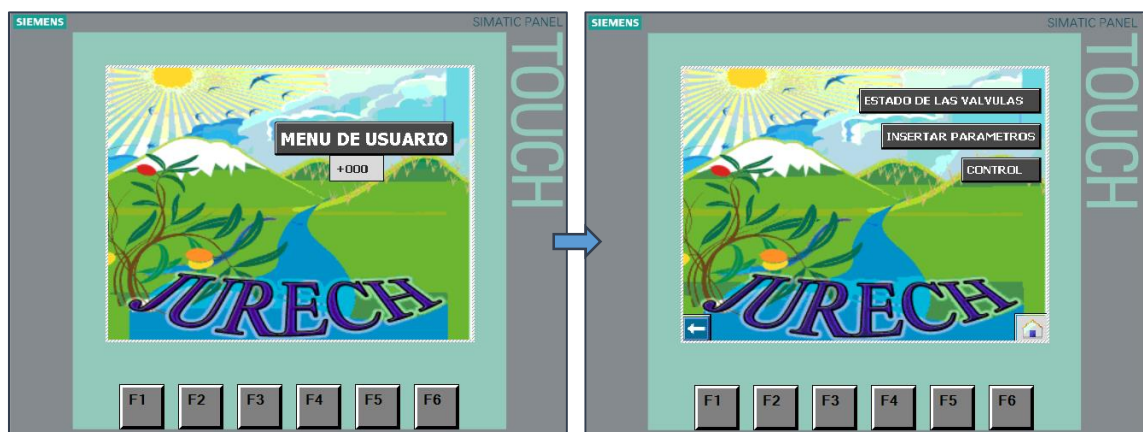


Figura 44-3: Interfaz de usuario con menú de opciones
Fuente: SILVA CONDE, Angel Alberto, 2016

El monitoreo del estado de las válvulas (Figura 45-3) se hace de manera local en el reservorio visualizando en la pantalla HMI como es el comportamiento actual según la lectura de los sensores y unas sentencias programadas en los controladores que interpretan una señal sencilla de pulsos transformándolos a estados bien definidos.

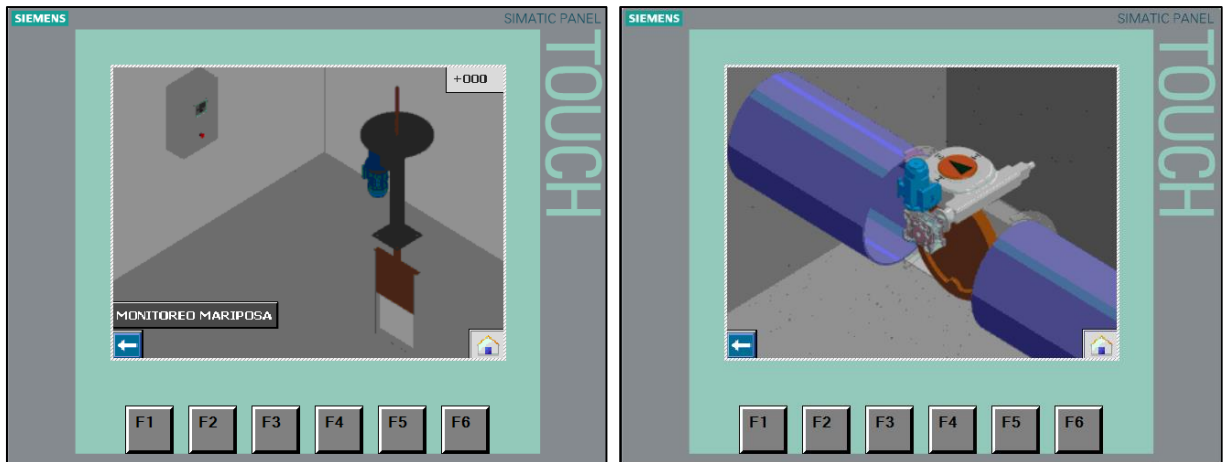


Figura 45-3: Monitoreo del estado de las válvulas
Fuente: SILVA CONDE, Angel Alberto, 2016

Para controlar el sistema de riego es necesario un menú con botones con propiedades de pulsador con todas las funciones que el sistema necesite como el control e ingreso de parámetros. Debe existir un control con el botones de inicio, paro, reseteo de parámetros, manual, automático y todos con su respectivo indicador (Figura 46-3) que dé a conocer que el proceso funciona según el requerimiento y finalmente es importante presentar un campo donde se pueda saber cuál es el número de vueltas que ha dado la tuerca que recorre el eje de la válvula.



Figura 46-3: Menú de control del sistema automático
Fuente: SILVA CONDE, Angel Alberto, 2016

3.12. Sistema de transferencia automática

Las condiciones de funcionamiento automáticas dentro del reservorio en condiciones normales monitorean las variables del proceso para el control de los actuadores, en el caso de corte de la energía eléctrica es importante conocer cuando ocurre, pero más importante aún es, mantener el proceso operativo aun cuando haga falta el suministro eléctrico por varias razones, una de ellas, y la as importante es cuando el operador encargado del sistema debe desplazarse hasta el reservorio

que se encuentra fuera de la ciudad a iniciar el sistema para volver al funcionamiento normal, esto acarrea primeramente un costo económico y de tiempo, tal como sucede en uno de los sistemas o prototipos antes mencionado.

Además de conocer el momento en el que la energía eléctrica se suspende, el sistema automatizado del reservorio 66 informa cuando ya se ha reestablecido el suministro eléctrico y de inmediato el operario puede consultar al sistema en qué condiciones están las válvulas y determinar si el estado de las mismas es el correcto sin la necesidad de acudir hasta el sitio.

El sistema de transferencia automática consta de equipos como una batería de 12Vdc a 84Amp de 12 placas para usarlo como fuente de alimentación alternativa, un cargador automático de baterías para que permanentemente mantenga a la batería en un estado de mantenimiento, un inversor de 12Vdc a 110Vca de 1000W de potencia estabilizados y 2000 en el arranque, calculados en base a la demanda del sistema instalado, un UPS que además de regular la energía que llega a los equipos principales los mantiene energizados hasta que el proceso de transferencia se realice y pueda cambiar su conexión de la red eléctrica a la fuente de alimentación alternativa, de igual manera cuando la energía se reestablezca ocurrirá el mismo proceso pero desconectando de la fuente alternativa a la red principal.

La duración del sistema autónomo en las condiciones de funcionamiento pre establecidas están dadas por la potencia que cada dispositivo demanda a la fuente de alimentación por hora, los equipos de control como PLC y módulos de comunicación **9.6W** (PLC) y **1.8W** (módulo GSM) según manual de sistema PLC S7-1200, Fuente de alimentación (110V-5A, 550W) para sensores (100mA) consumen 2,4W por cada uno en total **4,8W** y finalmente se detalla el consumo de la etapa de potencia estableciendo como prioridad el proceso de distribución.

$$P_{Bat} = 12V * 84A = 1008W \text{ (Potencia de la batería)}$$

$$\text{Consumo del motor} = 745.7 * 2 \text{ acciones} = 1491.4W$$

$$\text{Potencia de diseño (25\% adicional)} = 1491.4W * 1.25 = 1864.25$$

Tiempo de funcionamiento por día, con dos acciones de 10min (mecanismo de 1HP)

$$T_{FMD} = 20 \text{ min} = 0.33h; \quad \text{Tiempo de funcionamiento del mecanismo / día}$$

$$P_{MD} = \frac{0.33h * 1864.25W}{1h} = 615.2W; \quad \text{Potencia consumida por el mecanismo/día}$$

$$P_{MH} = \frac{615.2W}{24H} = 25.63W/h; \quad \text{Potencia consumida por los mecanismos / hora}$$

$$P_{TH} = 25.63 + 9.6 + 1.8 + 4.8 = 41.83W/h; \text{ Consumo total por hora}$$

$$T_D = \frac{1008W}{41.83W/h} = 24.09\text{horas}$$



Figura 47-3: Tablero de transferencia automática
Fuente: SILVA CONDE, Angel Alberto, 2016

CAPÍTULO IV

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Luego de haber realizado la investigación de las necesidades presentes en los sistemas de riego y plantear una solución a los problemas como un objeto de estudio, se han obtenido resultados de gran utilidad según la experiencia de los miembros de la junta de usuarios de riego con implementaciones o estudios de naturaleza semejantes.

Para determinar los resultados es importante el análisis de algunos aspectos que marcan la diferencia entre sistemas anteriormente instalados y prototipos probados en la medida de sus alcances haciendo énfasis en los resultados para determinar si fueron solución a las necesidades de los usuarios.

En otras palabras se desea determinar que un sistema capaz de comunicar en tiempo real lo que ocurre con el proceso, puede satisfacer las necesidades de los usuarios en base a las pruebas realizadas y resultados enmarcados en el cambio de la matriz productiva.

4.1. Ejecución periódica regular de las rutinas de riego

Los tableros de control instalados anteriormente tenían un gran inconveniente con el mantenimiento regular porque era un sistema inflexible a cambios o variaciones en sus protocolos o rutinas, por esta razón entre otras, los equipos dejaron de funcionar constituyendo un problema en el cumplimiento las funciones originales del reservorio 66.

En otras palabras el sistema quedo obsoleto causando malestar en los usuarios y demanda de tiempo en la atención personal que se debía realizar, es decir que la ejecución del protocolo de riego se debe cumplir con regularidad y en medida de lo posible sin la intervención del hombre.

Gracias a la implementación de un sistema automatizado en el mismo reservorio se tiene una regularidad en los procesos con una efectividad del 98.5% en promedio tanto en el control del ingreso de agua como en la distribución en base al tiempo que ya lleva instalado y la determinación de las causas de los errores producidos durante el mismo periodo de tiempo

Tomando en cuenta como factores de análisis el tiempo de funcionamiento con una muestra de 3

meses y 4 acciones por día en promedio por las dos válvulas, dando un total de 360 acciones, en ese transcurso de tiempo se han reportado 5 fallas de las cuales 4 son por una mala calibración mecánica por tareas de mantenimiento y una por error operativo.

4.2. Ejecución periódica sujeta a variaciones climáticas en las rutinas de riego

Las variaciones en la operación del sistema de riego está basado en las temporadas de lluvia, acarreado problemas desde la bocatoma con inconvenientes por inundaciones y filtración de basura al canal de riego principal causando un exceso de presión y por ende agua en mayor cantidad cuando no se la requiere porque por la lluvia las personas riegan con menor frecuencia.

En casos como esos es importante saber dosificar el agua, la manera de hacerlo lo brida el propio sistema por medio de la pantalla HMI en la que se despliega un campo de entrada de datos que toma el valor deseado de pulsaciones máximas que el sensor debe detectar, afectando directamente en el recorrido del vástago en la válvula de compuerta.

El control de regulación del recorrido en la válvula se hace sobre el proceso de distribución a los usuarios, en la válvula de ingreso no es prioridad porque le nivel controla directamente la apertura y el cierre en su totalidad.

Otros sistemas no ofrecen la flexibilidad para ser modificados dependiendo de condiciones climatológicas sino que asumen condiciones de funcionamiento rígidas para condiciones no variables y según (Miranda, 2015) el control de un reservorio distinto con características similares siempre se abre y cierra en su totalidad por medio de un sistema sin posibilidad de reconfiguración o cambio alguno, salvo el caso de la presencia de un programador con mano de obra calificada para realizar variaciones, mientras que el control del reservorio 66 no se necesita de la presencia del programador por tratarse de un sistema intuitivo con un lenguaje visual y sencillo para el operario.

4.3. Costos de operación para reservorios poco tecnificados en función al reservorio 66

En la provincia de Chimborazo dentro del sistema de riego a partir de la tubería principal TB11 existe 7 reservorios con válvulas tanto al ingreso como a la distribución, dando un total de 14 válvulas de las cuales 2 pertenecientes al reservorio 66 y están totalmente automatizadas, 2 pertenecientes al reservorio 64 con el prototipo instalado funcionan de manera parcial en

comparación al sistema automático del reservorio 66, 2 válvulas pertenecientes al reservorio 68 se encuentran en proceso de automatización y las 8 válvulas restantes carecen de tecnificación.

Los costos generados en función a la situación actual se representan en las Tablas 2-4, 3-4 y 4-4.

Se toma como muestra tres reservorios con similitud en la distancia de cada uno hasta la ciudad de Riobamba con los dato de la Tabla 1-4:

Tabla 1-4: Costos promedio

Auto, Gasolina Extra por Km	\$0.063
Auto, Diésel por Km (-25% Gasolina)	\$0.047
Mensaje de texto	\$0.067
Motocicleta, Gasolina extra por Km	\$0.02

Fuente: SILVA CONDE, Angel Alberto, 2016

Tabla 2-4: Costo por día en cada tipo de reservorio (Auto-Extra)

Rubro	Reservorio parcial (11Km)	64 Reservorio total (15 Km)	66 Reservorio 68 carece(19Km)
Transporte (c/Km)	\$1.38	\$0.39	\$4.78
Personal (U)	\$17.7	\$1.77	\$17.7
Mensajes (U)	\$0.00	\$0.13	\$0.00
TOTAL	\$ 19.08	\$ 2.29	\$ 22.48

Fuente: SILVA CONDE, Angel Alberto, 2016

Tabla 3-4: Costo por día en cada tipo de reservorio (Auto-Diésel)

Rubro	Reservorio (11Km)	64 Reservorio 66 (15 Km)	Reservorio 68 (19Km)
Transporte (c/Km)	\$1.03	\$0.15	\$3.57
Personal (U)	\$17.7	\$1.77	\$17.7
Mensajes (U)	\$0.00	\$0.13	\$0.00
TOTAL	\$ 18.73	\$ 2.05	21.27

Fuente: SILVA CONDE, Angel Alberto, 2016

Tabla 4-4: Costo por día en cada tipo de reservorio (Motocicleta)

Rubro	Reservorio (11Km)	64 Reservorio 66 (15 Km)	Reservorio 68 (19Km)
Transporte (c/Km)	\$ 0.44	\$ 0.063	\$ 1.52
Personal (U)	\$ 17.7	\$ 1.77	\$ 17.7
Mensajes (U)	\$ 0.00	\$ 0.13	\$ 0.00
TOTAL	\$ 18.14	\$ 1.83	\$ 19.22

Fuente: SILVA CONDE, Angel Alberto, 2016

El resultado expresa un costo mensual de \$36.36 para mantener el reservorio 66 mientras que por otra parte, mantener un reservorio que carece de automatización cuesta \$ 384.40 tomando como referencia la tabla con la moto como medio de transporte y en función al auto a gasolina como medio de transporte con un reservorio automatizado se tiene \$ 45.80, y el reservorio 68 que no posee tecnificación de sus procesos, cuesta mantenerlo \$ 450.00 al mes por los días laborables.

Más importante aún, es el tiempo que se ahorran en asistir al reservorio, de tal manera que pueden usar ese tiempo para otras actividades que aporten a la correcta gestión de la junta de riego entre otras actividades.

4.4. Eficiencia del sistema

El margen de ahorro está relacionado en forma directa con la eficiencia del sistema, porque una respuesta oportuna le ahorra tiempo y dinero no sola a los encargados del sistema de riego, también a los beneficiarios o regantes les proporciona un ahorro en los mismos términos.

El reservorio 66 hace un trabajo eficiente al realizar la misma tarea de apertura y cierre de válvulas en un tiempo mucho menor sin necesidad de movilizar personal.

4.5. Estandarización de procesos de riego

Al mencionar estandarización de los procesos de riego es necesario verificar las condiciones de servicio y estado actual de los reservorios para analizar hasta qué punto es posible lograr estandarizar el proceso automatizado, entendiéndose que se realizara con los mismos dispositivos o equipos para controlar actuadores de similares características. En el caso de los reservorios pertenecientes al sistema de riego que parte en la TB11, todos están en condiciones para ser estandarizados porque el sistema automático del reservorio 66 funciona tanto en 110Vac como en 220Vac, es decir que el mismo tablero de control puede ser compatible con las condiciones de otro reservorio cualquiera dentro de la red de riego Chambo Guano

4.6. Escalabilidad del sistema implementado

El tablero de control instalado en el reservorio 66 ofrece la característica de escalabilidad, porque de forma local puede admitir más variables de procesos futuros y de forma remota por medio del modem y la antena móvil puede enviar y recibir una lista de instrucciones que le permita gestionar más recursos como por ejemplo el enlace que puede lograr a través del mismo modulo en una

configuración de telecontrol para enviar datos o parámetros a un sistema SCADA con una gama variada de tipos de datos a parte del control por caracteres que por el momento realiza.

La clave fundamental de la escalabilidad a la que se puede someter el sistema es que por alguna necesidad cambie su modo de operar pero sin perder la calidad del manejo de la información que dentro de la red se maneja para ejecutar de manera adecuada los procesos.

4.7. Respuesta del sistema ante eventualidades

Para que la respuesta del sistema sea la adecuada ante cualquier eventualidad primero debe tener una buena seguridad por software para control de los actuadores dependiendo del estado en el que se encuentren para que no se repitan las acciones y de igual manera en el control de nivel que evita el desperdicio de agua por la falta de presencia de un operario en el sector que además debía calcular en que tiempo se llena la reserva en base a su experiencia, lo cual es muy variable porque depende de la presión y el caudal de la tubería que constantemente cambia en la amplitud de su magnitud produciendo rebosamiento de agua en el cuarto de la medición aumentando las pérdidas del agua de riego y actualmente se encuentra controlado la pérdida con la limitación superior del tanque reservorio.

En base al tiempo de operatividad que ya tiene el reservorio se determina que el sistema es confiable y seguro dentro del proceso que le corresponde controlar partiendo de la calidad de los equipos con los que cuenta el tablero y un soporte de software que responde ante eventualidades como el corte de energía eléctrica y el funcionamiento del PLC como si permaneciera conectado a la red eléctrica, esto lo realiza a partir de un tablero de transferencia automática como una alternativa para evitar que los operarios se acerquen a restablecer las funciones del tablero de control.

CONCLUSIONES

La implementación de un sistema automatizado para el reservorio 66 del sistema de riego Chambo Guano fue de gran ayuda para el manejo operacional y logístico de los responsables del sistema aportando además a mejorar la calidad de vida de todos sus usuarios.

La instalación del tablero de control para el ingreso de agua al reservorio evita el desperdicio del recurso hídrico por medio de la adquisición del nivel del tanque y posicionamiento de la válvula con la ayuda de instrumentación industrial, logrando que los demás reservorios puedan llenarse en menor tiempo.

El sistema de control para la distribución del agua a los usuarios, abre y cierra la válvula de compuerta a las horas programadas, estableciendo un orden en la planificación de riego.

La programación de los controladores lógicos además de realizar los procesos de forma automática, realizan una revisión del estado actual de los mecanismos en base al historial de eventos ocurridos de manera local o remota para no repetir la ejecución de uno o varios procesos, evitando averías en los sistemas mecánicos.

Los resultados del diseño y construcción de los acoples mecánicos y dimensionamiento de los motorreductores para las válvulas de mariposa y compuerta funcionan correctamente logrando que las válvulas ejecuten las acciones correspondientes venciendo la resistencia que ofrecen las válvulas.

La entrega de notificaciones del estado de las válvulas es de gran ayuda para los operarios porque no es necesaria su presencia para verificar las condiciones mecánicas de los procesos.

El envío de mensajes de texto al tablero del reservorio con propósitos de control brinda al encargado del sistema de riego la posibilidad del ahorro de recursos y en caso de una petición de los usuarios para abrir o cerrar las válvulas, pueden dar una respuesta de manera inmediata.

La instalación y programación del panel HMI para que el operario pueda ingresar parámetros a la programación, le da autonomía al sistema exponiendo al operador encargado una interfaz intuitiva para acceder a la programación del PLC por medio de una red Industrial PROFINET.

RECOMENDACIONES

Se recomienda el mantenimiento periódico de los elementos sensores por la presencia de grasa en los mecanismos

El cambio de los electrodos de referencia para el control de nivel deben ser limpiados de forma regular para evitar la acumulación de lodo a su alrededor por tratarse de agua de riego.

Realizar mediciones de voltajes en los cables de alimentación que se encuentran enterrados para detectar daños en el cable por la presencia de excesiva humedad.

Mantener el tablero de control cerrado para evitar la presencia de polvo en el PLC, HMI y demás dispositivos electrónicos con grados de protección IP bajos.

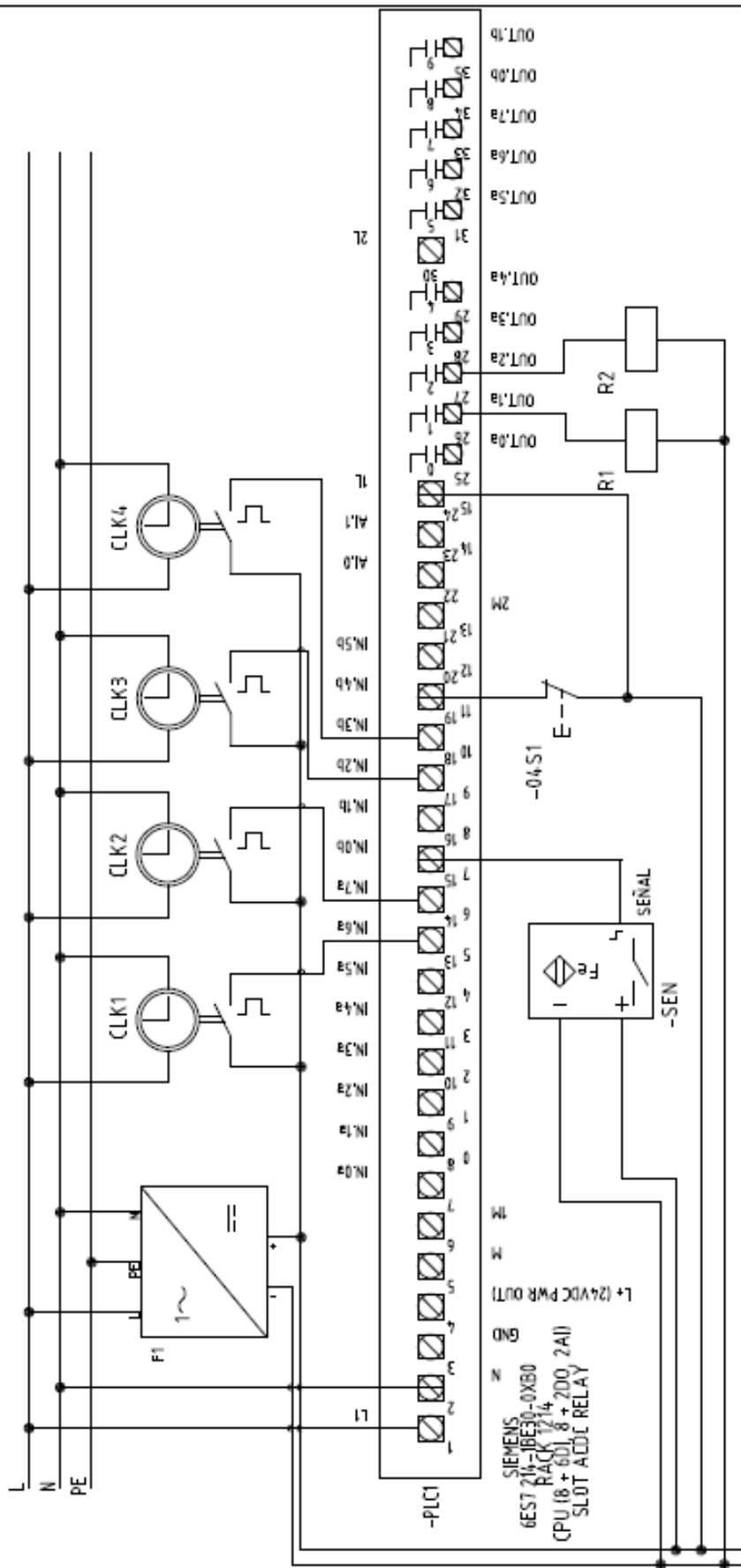
BIBLIOGRAFÍA

- BEER, F. P., & JOHNSTON, R. E.** (2010). *Mecánica Vectorial para ingenieros*. Mexico DF-Mexico: McGrawHill. Pp 25-45
- BEER, F. P., JOHNSTON, E. R., MAZUREK, D. F., CORNWELL, P. J., & EISENBERG, E. R.** (2009). *Vector mechanics for engineers Statics and Dynamics*. New York: McGraw Hill. Pp 34-88
- BUDYNAS, R. G., & NISBETT, J. K.** (2008). *Diseño en ingeniería mecánica de Shigley*. Mexico: McGraw-Hill. Pp 145 211
- CASTRO BURGOS, L., & VALDÉZ GONZÁLEZ, H.** (2009). Detección de pérdidas en tuberías de agua. *Revista Chilena de Ingeniería*, 375-385.
- CÓRDOBA NIETO, E.** (2006). Manufactura y Automatización. *Ingeniería e Investigación*, Pp 120-128.
- ECUADOR, INSTITUTO NACIONAL DE ESTADISTICA Y CENSO.** *Ecuador en Cifras*. Obtenido de Ecuador en Cifras: (14 de Febrero de 2016)
http://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Encuestas_Ambientales/Municipios_ConsProvinciales_2013/Provinciales-2013/Presentacion_de_Resultados_Gobiernos_Provinciales_Final_2013.pdf
- JURECHG.** (2016). *Junta general de usuarios de riego Chambo Guano*. Recuperado el 15 de 07 de 2016, de JURECHG: <http://jurech.org.ec/>
- MALDONADO, D.** (2013). *Repositorio Universidad del Azuay*. Recuperado el 14 de Febrero de 2016, de Repositorio Universidad del Azuay: <http://dspace.uazuay.edu.ec/bitstream/datos/2193/1/09655.pdf>
- MARIA DEL MAR, H.** (2015). La gestión de los recursos hídricos en la adaptación al cambio climático. *iee.es*, 10.
- MIRANDA, H.** (2015). Diseño y construcción de un prototipo para control y monitoreo de reservorios de agua empleando comunicación móvil gsm/gprs en sistemas de riego. *Sathiri*, 193 - 201.

- NORTON, R. L.** (2011). *Diseño de maquinas un enfoque integrado*. Mexico: Pearson.
- PÉREZ, E., ACEVEDO, J., SILVA, C., & ARMESTO, J.** (2009). *Autómatas Programables y Sistemas de Automatización* (Segunda ed.). Barcelona: Marcombo.
- REXNORD.** (14 de Septiembre de 2016). *Rexnord cadenas y coronas*. Obtenido de <http://www.rexnord.com>
- ROSSI.** (2016). *Catalogo Tecnico Rossi Motoriductor*. Obtenido de <http://www.fornituregelmini.it>
- RUIZ CANALES, A.** (2010). *Automatización y Telecontrol de Sistemas de Riego*. Barcelona, España: Marcombo.
- SENPLADES.** (2013). *Territorio y descentralización: competencia de riego y drenaje*. Recuperado el 03 de Enero de 2015, de <http://www.planificacion.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2014/01/Territorio-y-Descentralizaci%C3%B3n-Riego-Drenaje.pdf>
- SIEMENS.** (2014). *S7-1200 MANUAL DEL SISTEMA. A5E02486683-AG, 23-34*. Recuperado el 06 de 2016
- SIEMENS.** (2016). *Automatización, Comunicación industrial*. Recuperado el 14 de 07 de 2016, de Profinet: <https://mall.industry.siemens.com>
- SIEMENS.** (2016). *Instrucciones de Servicio S7-1200 - TeleControl CP1242-7*.
- SUBSECRETARÍA DE RIEGO Y DRENAJE.** (13 de Febrero de 2016). *Documento Plan Nacional de Riego y Drenaje 2011-2026*. Obtenido de <http://rrnn.tungurahua.gob.ec/documentos/ver/518d6325bd92eabc15000002>
- VALENTÍN LABARTA, J.** (2001). *Automatismos Industriales*. Donostiarra.
- VILABOA B, J.** (2004). *Gestión de la automatización de plantas industriales en Chile. Facultad de Ingeniería U.T.A.(CHILE), 12, 33-41.*

ANEXOS

DIAGRAMA DE CONTROL



TAG	VALOR	DESCRIPCION
SEN	50-30V	SENSOR INDUCTIVO
S1		PULSADOR DE PAISO EMERGENTE COLOR ROJO
F1	24VDC	FUENTE DE ALIMENTACION
CLK1-2-3-4	110V	RELOJES SETEADOS POR EL USUARIO
PLC1	110VAC	1214 AC/DC RELAY

INGENIERO	DESIGN	AS	AS
CLIENTE	PROYECTO	NO BUILT	NO BUILT
DATE	DATE	DATE	DATE
BY	BY	BY	BY

CLIENTE	PROYECTO	DESCRIPCION
		CONTROL DE MOTOR CON PLC
DRAWING No.	SCALE	SIZE
001-SR-P1	1:1	A4
REV.	REV.	REV.
1	1	1

NOTES / NOTAS	SPECIFICATIONS / ESPECIFICACIONES	REFERENCES / REFERENCIAS	REVISIONS / REVISIONES												
			<table border="1"> <tr> <td>REV.</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>DATE</td> <td>23-08-2016</td> </tr> <tr> <td>DESC</td> <td>AS BUILD</td> </tr> <tr> <td>DRW.</td> <td>AS C</td> </tr> <tr> <td>REV.</td> <td>1/M</td> </tr> <tr> <td>APP.</td> <td></td> </tr> </table>	REV.	1	DATE	23-08-2016	DESC	AS BUILD	DRW.	AS C	REV.	1/M	APP.	
REV.	1														
DATE	23-08-2016														
DESC	AS BUILD														
DRW.	AS C														
REV.	1/M														
APP.															

DIAGRAMA DE FUERZA

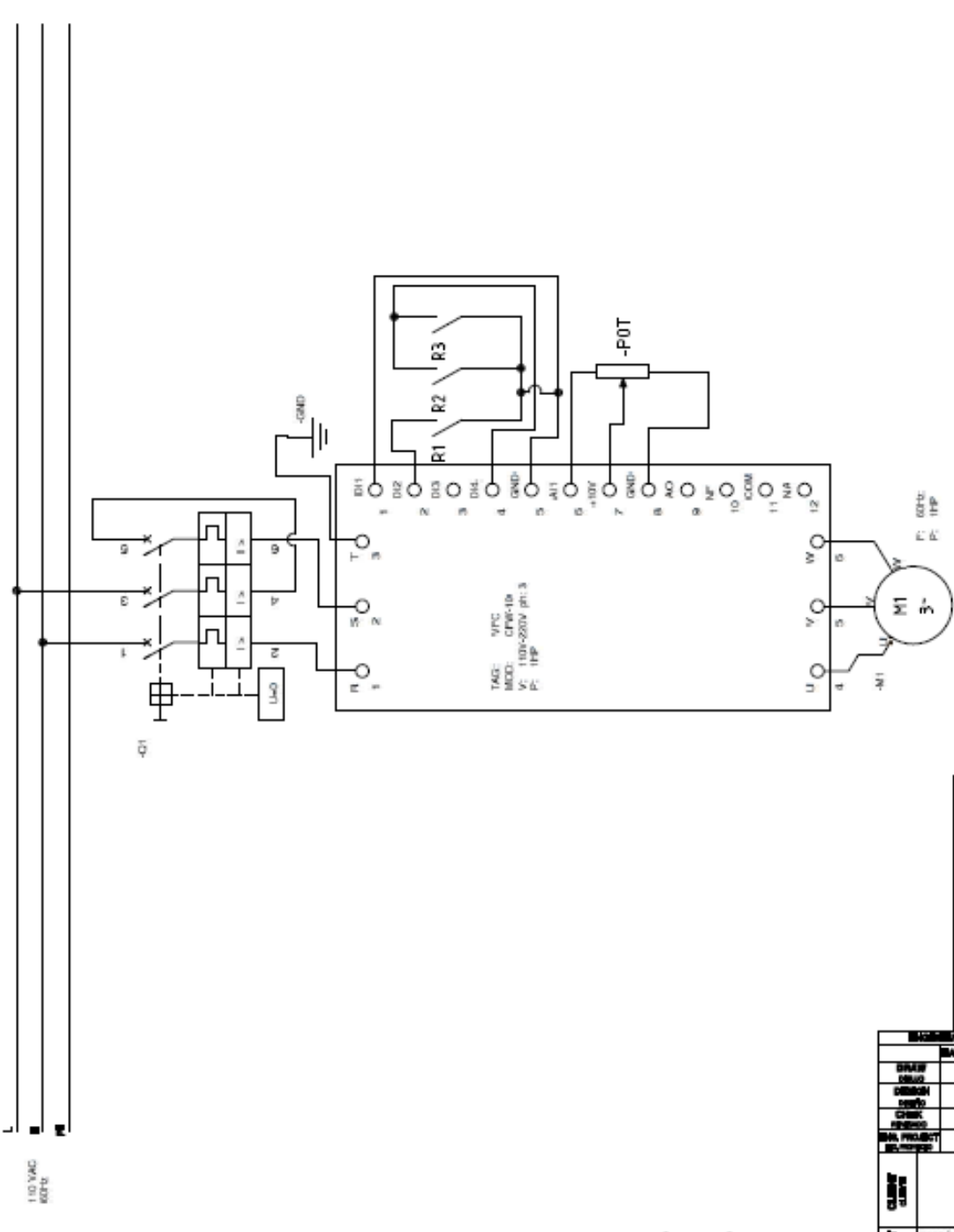


TABLA DE CONTENIDO	
TAG	DESCRIPCIÓN
POT	POTENCIOMETRO
R1	CONTACTO DE RELÉ 1
R2	CONTACTO DE RELÉ 2
Q1	GUARDAMOTOR

REVISIÓN / REVISIONS			
REV.	1		
DATE/FECHA	29-08-2016		
BY/ELABORADO	MS BULLA		
CHK/REVISADO	A.S.G.		
APP.	LM		

TABLA DE CONTENIDO			
TAG	DESCRIPCIÓN	VALOR	UNIDAD
POT	POTENCIOMETRO	5K	
R1	CONTACTO DE RELÉ 1		
R2	CONTACTO DE RELÉ 2		
Q1	GUARDAMOTOR		

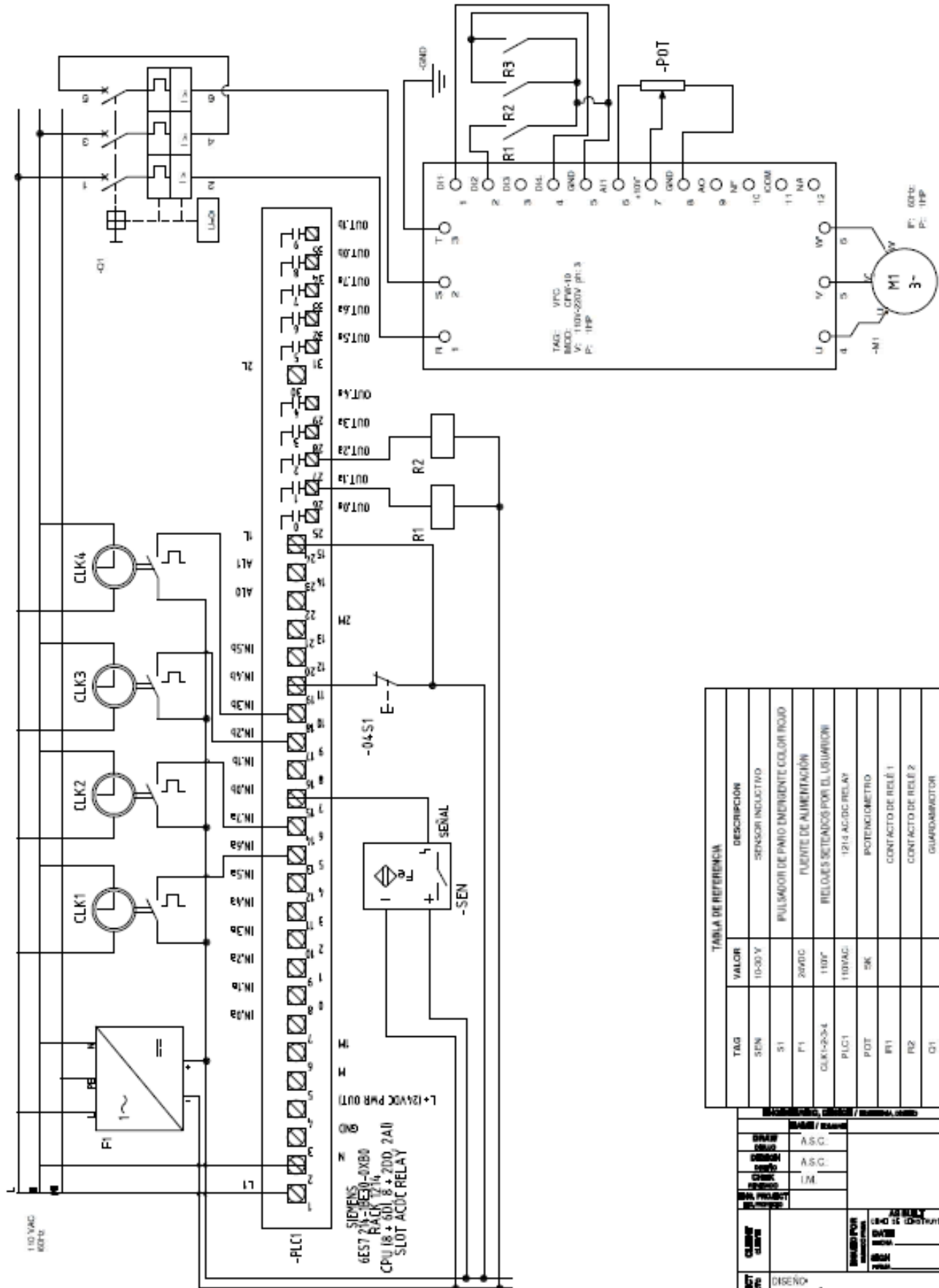
REVISIÓN / REVISIONS			
REV.	1		
DATE/FECHA	29-08-2016		
BY/ELABORADO	MS BULLA		
CHK/REVISADO	A.S.G.		
APP.	LM		

REVISIÓN / REVISIONS			
REV.	1		
DATE/FECHA	29-08-2016		
BY/ELABORADO	MS BULLA		
CHK/REVISADO	A.S.G.		
APP.	LM		

MOTRIS / MOTORS		ESPECIFICACIONES / SPECIFICATIONS		REVISIONES / REVISIONS		REVISIONES / REVISIONS	

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

DIAGRAMA DE CONTROL Y FUERZA



TAG	VALOR	DESCRIPCIÓN
SEN	10-30 V	SENSOR INDUCTIVO
S1		PULSADOR DE PARO EMERGENTE COLOR ROJO
F1	20ADC	FUENTE DE ALIMENTACIÓN
CLK1-2-3-4	110V	RELÉS SENSADOS POR EL USUARIO
PLC1	110VAC	12/4 ACDC RELAY
POT	5K	POTENCIOMETRO
R1		CONTACTO DE RELÉ 1
R2		CONTACTO DE RELÉ 2
C1		GUARDAMOTOR

NOTAS / notes	ESPECIFICACIONES / especificaciones	REFERENCIAS / referencias	REVISIONES / revisiones																
			<table border="1"> <tr> <td>REV.</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>DATE/fecha</td> <td>29-08-2016</td> </tr> <tr> <td>DESIGN/Diseno</td> <td>NS BULLD</td> </tr> <tr> <td>DRAW/ Dibujo</td> <td>A.S.C</td> </tr> <tr> <td>REV. PROJECT/Revisión Proyecto</td> <td>1M</td> </tr> </table>	REV.	1	DATE/fecha	29-08-2016	DESIGN/Diseno	NS BULLD	DRAW/ Dibujo	A.S.C	REV. PROJECT/Revisión Proyecto	1M						
REV.	1																		
DATE/fecha	29-08-2016																		
DESIGN/Diseno	NS BULLD																		
DRAW/ Dibujo	A.S.C																		
REV. PROJECT/Revisión Proyecto	1M																		
			<table border="1"> <tr> <td>PROYECTO/Project</td> <td>DISEÑO/Design</td> <td>REVISOR/Revisor</td> <td>A.S.C</td> </tr> <tr> <td>CLIENTE/Client</td> <td>INSTALACIÓN Y PUESTA EN SERVICIO</td> <td>REVISOR/Revisor</td> <td>1M</td> </tr> <tr> <td>PROYECTO/Project</td> <td>CONTROL DE MOTOR CON PLC</td> <td>REVISOR/Revisor</td> <td>1M</td> </tr> </table>	PROYECTO/Project	DISEÑO/Design	REVISOR/Revisor	A.S.C	CLIENTE/Client	INSTALACIÓN Y PUESTA EN SERVICIO	REVISOR/Revisor	1M	PROYECTO/Project	CONTROL DE MOTOR CON PLC	REVISOR/Revisor	1M				
PROYECTO/Project	DISEÑO/Design	REVISOR/Revisor	A.S.C																
CLIENTE/Client	INSTALACIÓN Y PUESTA EN SERVICIO	REVISOR/Revisor	1M																
PROYECTO/Project	CONTROL DE MOTOR CON PLC	REVISOR/Revisor	1M																
			<table border="1"> <tr> <td>DRAWING No./Dibujo No.</td> <td>03-SR-P1</td> <td>SCALE/ Escala</td> <td>SE</td> <td>SHEET No./ Hoja No.</td> <td>4</td> <td>TOTAL SHEETS/ Hojas Totales</td> <td>4</td> </tr> <tr> <td>REV.</td> <td></td> <td>APP.</td> <td></td> <td>REV.</td> <td></td> <td>APP.</td> <td></td> </tr> </table>	DRAWING No./Dibujo No.	03-SR-P1	SCALE/ Escala	SE	SHEET No./ Hoja No.	4	TOTAL SHEETS/ Hojas Totales	4	REV.		APP.		REV.		APP.	
DRAWING No./Dibujo No.	03-SR-P1	SCALE/ Escala	SE	SHEET No./ Hoja No.	4	TOTAL SHEETS/ Hojas Totales	4												
REV.		APP.		REV.		APP.													

DIAGRAMA DE CONTROL Y FUERZA

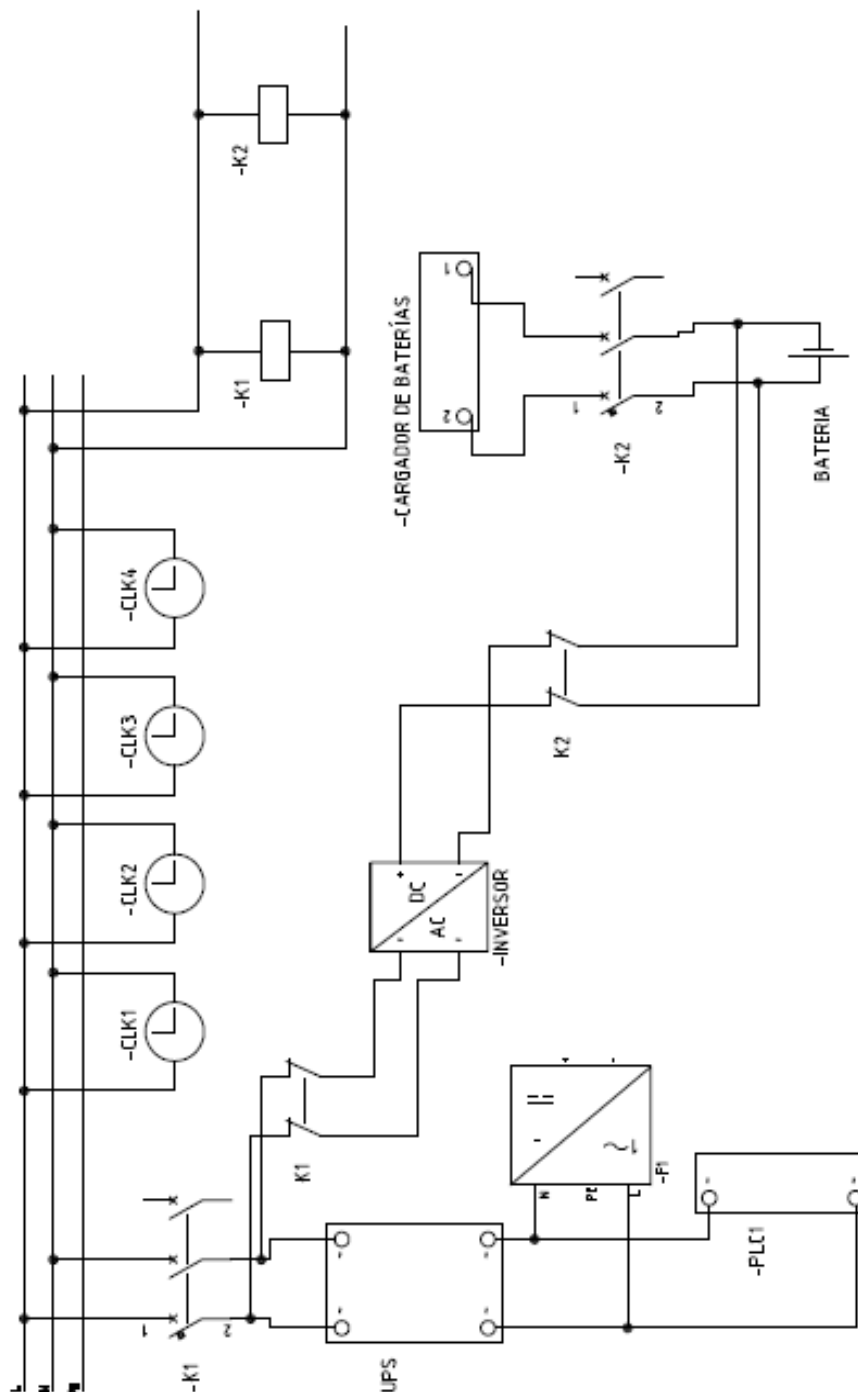


TABLA DE REFERENCIA

TAG	VALOR	DESCRIPCION
UPS	110VAC	UPS
CARGADOR DE BATERIA		CARGADOR DE BATERIA
F1	2000G	FUENTE DE ALIMENTACION
CLK1-2-3-4	110V	RELOJES SETEADOS POR EL USUARIO
PLC1	110VAC	LOGO B 2000G
INVERSOR	12VDC/110VAC	INVERSOR DE VOLTAJE
K1		CONTACTOR 1
K2		CONTACTOR 2

DISEÑO: A.S.G. DISEÑO: A.S.G. CHECK: J.M. REVISADO:	ASESORIA: CING E. IDH/TH/D DATE: TIME: SIGN:
--	--

PRODUCTO: DISEÑO INSTALACION Y PUESTA EN SERVICIO	SISTEMA DE SUPLEMENTO DE ENERGIA
REVISIONES: 005-SR-P2	E.S. M. 1

NOMBRE / NOMENCLATURA: ESPECIFICACIONES / REQUISITOS: REFERENCIAS / REVISIONES: REVISIONES / REVISIONES: REV. 1 DATE: 20-09-2015 CHECK: MS BULLD DISEÑO: V.S.G REV. M APP.	NOMBRE / NOMENCLATURA: ESPECIFICACIONES / REQUISITOS: REFERENCIAS / REVISIONES: REVISIONES / REVISIONES: REV. 1 DATE: 20-09-2015 CHECK: MS BULLD DISEÑO: V.S.G REV. M APP.
---	---

INSTALACIÓN Y EVIDENCIA

Cuarto de control del reservorio 66 del Sistema de Riego Chambo Guano



Tanque de reserva de 18000m³



Tanque subterráneo para la toma del nivel



Sistema de control obsoleto



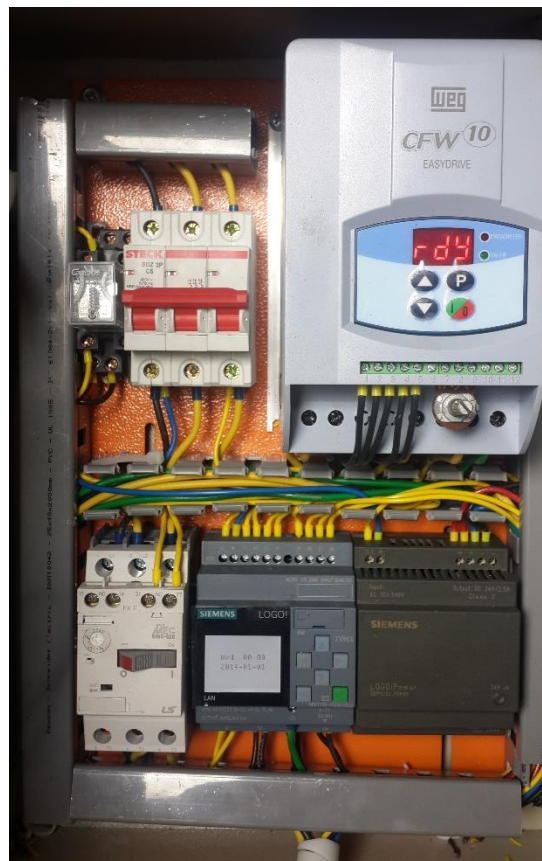
Tablero de control para la distribución de agua de riego



Menú de usuario en el tablero de control



Tablero de control para el ingreso de agua de riego



Mecanismo de compuerta con sensor para detección de la posición



Usuarios de Sistema de riego, encargados del mantenimiento del mismo

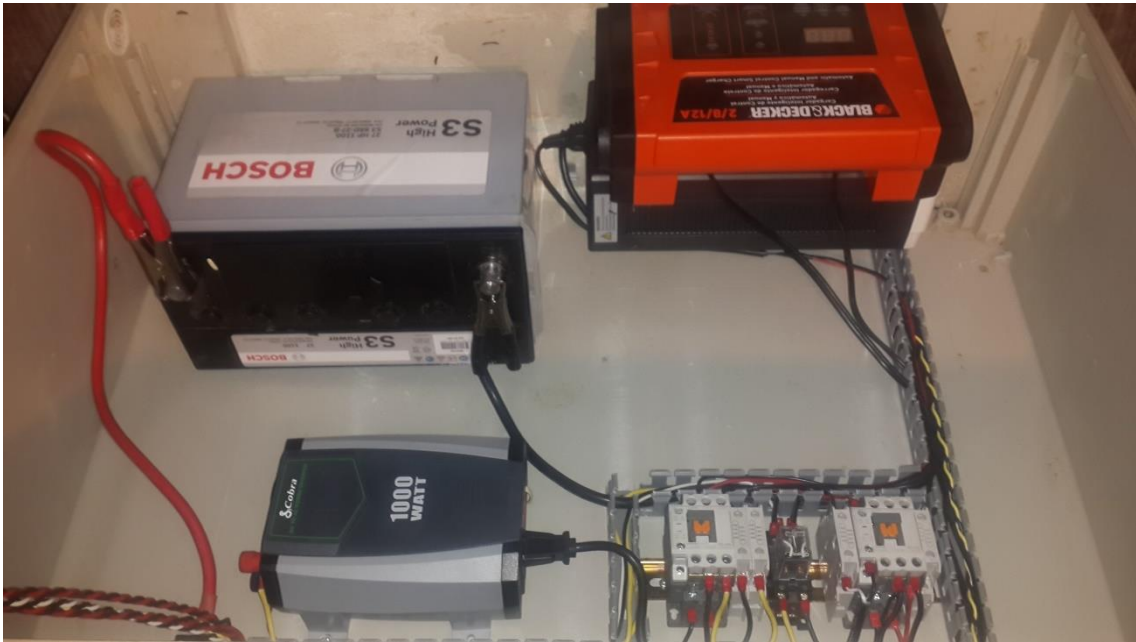




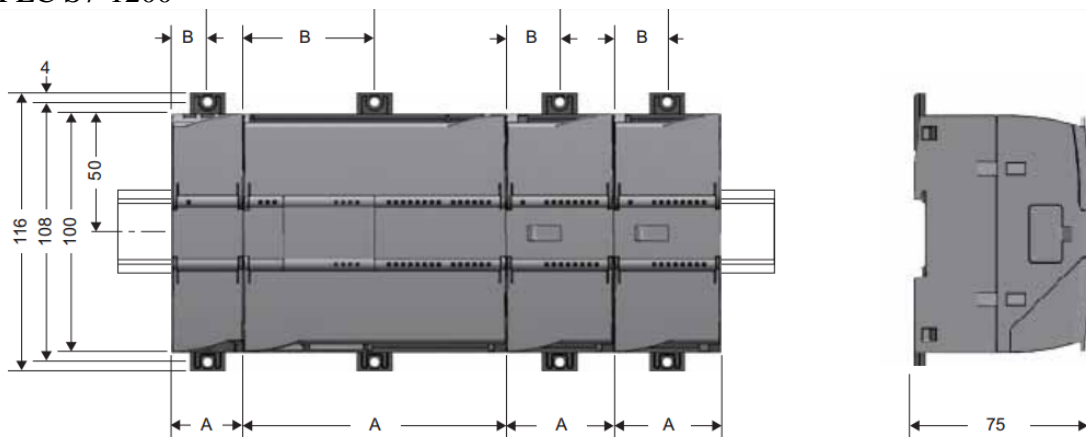
Programación del tablero de control para la ejecución del proceso automático



Sistema de transferencia automática



MANUALES Y HOJAS DE DATOS PLC S7-1200

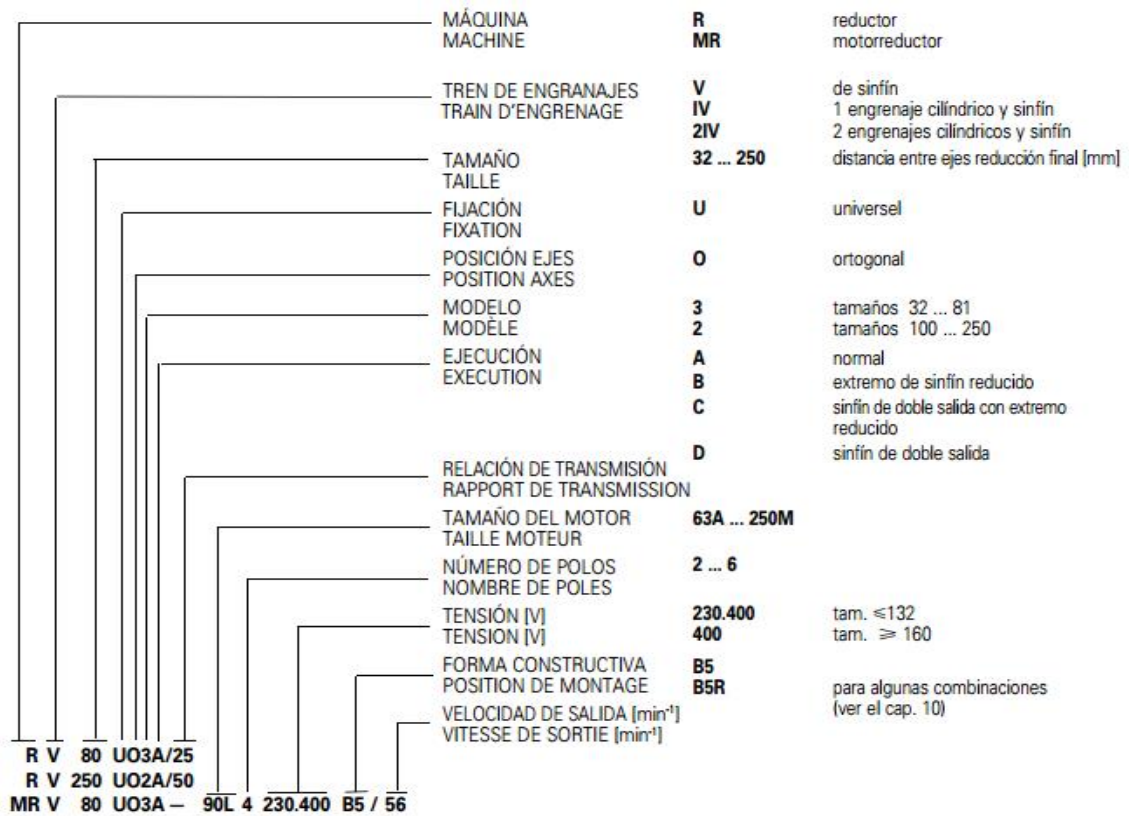


Dispositivos S7-1200		Ancho A	Ancho B
CPUs:	CPU 1211C y CPU 1212C	90 mm	45 mm
	CPU 1214C	110 mm	55 mm
Módulos de señales:	8 y 16 E/S, DC y relé (8I, 16I, 8Q, 16Q, 8I/8Q) Análogos (4AI, 8AI, 4AI/4AQ, 2AQ, 4AQ)	45 mm	22,5 mm
	16I/16Q relé (16I/16Q)	70 mm	35 mm
Módulos de comunicación:	CM 1241 RS232 y CM 1241 RS485	30 mm	15 mm

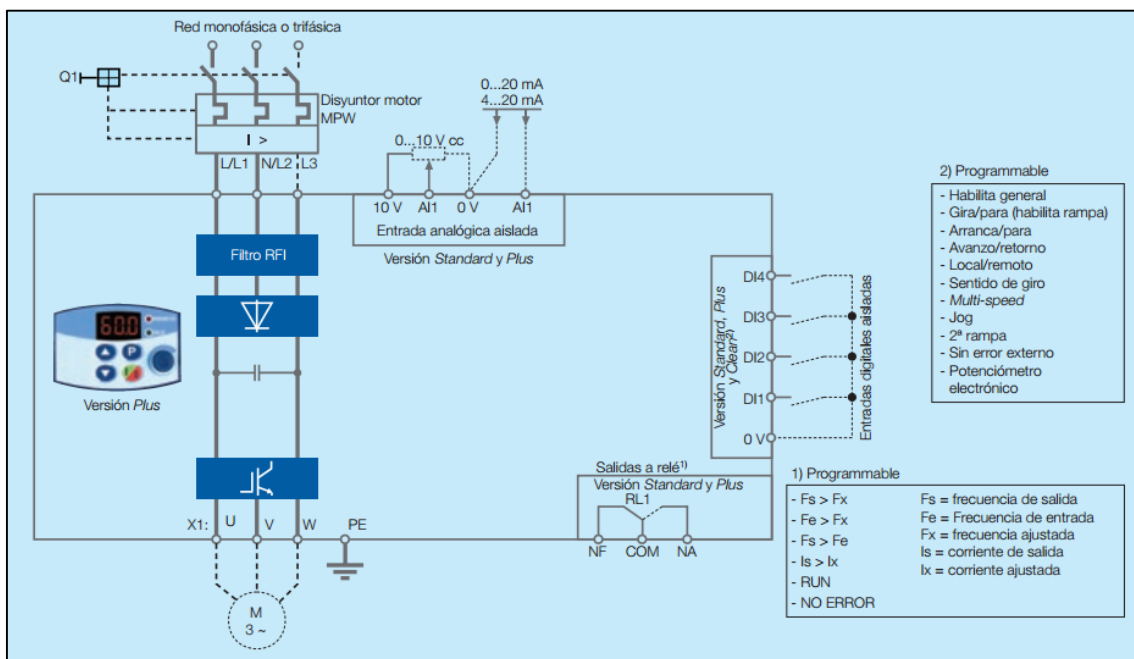
Interfaz Humano Maquina (HMI)

Información general	
Designación del tipo de producto	SIMATIC HMI KTP600 Basic color PN
Display	
Tipo de display	TFT
Diagonal de pantalla	5,7 in
Achura del display	115,2 mm
Altura del display	86,4 mm
Nº de colores	256
Resolución (píxeles)	
• Resolución de imagen horizontal	320 Pixel
• Resolución de imagen vertical	240 Pixel
• Teclas con LED	No
• Teclas del sistema	No
• Teclado numérico/alfanumérico	
— Teclado numérico	Sí; Teclado en pantalla
— Teclado alfanumérico	Sí; Teclado en pantalla
Manejo táctil	
• Variante con pantalla táctil	Sí
Diseño/montaje	
Posición de montaje	vertical
Montaje vertical (formato retrato) posible	Sí
Montaje horizontal (formato apaisado) posible	Sí
Máx. ángulo de inclinación permitido sin ventilación externa	35°
Tensión de alimentación	
Tipo de tensión de la alimentación	DC
Valor nominal (DC)	24 V
Rango admisible, límite inferior (DC)	19,2 V
Rango admisible, límite superior (DC)	28,8 V
Intensidad de entrada	
Consumo (valor nominal)	0,35 A
Intensidad transitoria de conexión I ^{pt}	0,5 A ² ·s
Potencia	
Consumo, típ.	9 W


Identificación de un Motorreductor Rossi




Configuración del variador WEG CFW10

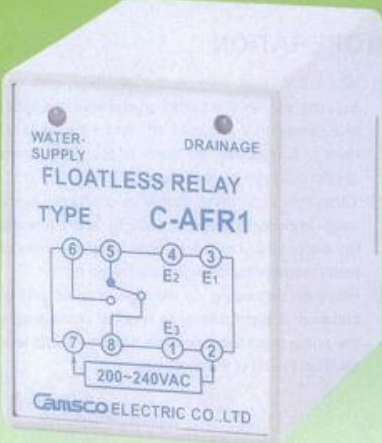


Sensor de nivel de dos posiciones con referencia CAFR1



FLOATLESS RELAY C-AFR1





WATER SUPPLY
FLOATLESS RELAY
TYPE C-AFR1

200-240VAC
Gamsco ELECTRIC CO., LTD

■ FEATURES:

- Suitable for water supply and drainage.
- Plug in assembly, compact volume, easy for installation and replacement.
- Probes E1-E3 are live with low voltage (A.C. 8 volts).
- LED are provided to indicate operating condition.

■ SPECIFICATIONS:

- RATED VOLTAGE : 110 or 220V AC.
- CONTROL OUTPUT : 250V 5A AC.
- OPERATING VOLTAGE RANGE : 85 TO 110% OF RATED VOLTAGE

■ CONNECTIONS
General water-supply or drainage running

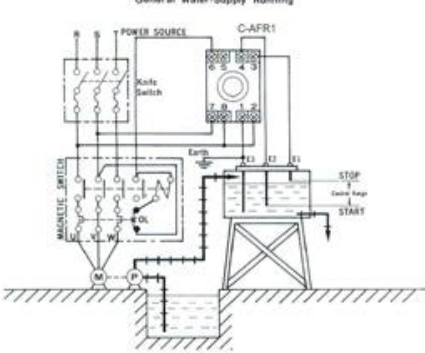
1. WATER SUPPLY

- Connect electromagnetic switch coil terminal MS to 6.
- The pump stops when water level reaches E1 and starts when water level drops below E2.

2. DRAINAGE

- Connect electromagnetic switch coil terminal MS to 5.
- Pump starts when water level reaches E1 and stops when water level drops below E2.

General Water-Supply Running



General drainage running

