



UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA

**ÁREA DE LA ENERGÍA, LAS INDUSTRIAS Y LOS RECURSOS
NATURALES NO RENOVABLES**

CARRERA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES

TÍTULO:

**“ESTUDIO TÉCNICO PARA LA AUTOMATIZACIÓN DE DOS SECTORES DEL
SISTEMA DE RIEGO CAMPANA MALACATOS”**

TESIS DE GRADO, PREVIO A LA
OBTENCIÓN DE TÍTULO DE
INGENIERO EN ELECTRÓNICA Y
TELECOMUNICACIONES

AUTOR:

Diego Fernando Maldonado Pineda.

DIRECTOR:

Ing. Julio Cesar Cuenca Tinitana, Mg. Sc.

LOJA- ECUADOR

2015

CERTIFICACIÓN

Ing. Julio Cesar Cuenca Tinitana, Mg. Sc..

DIRECTOR DE TESIS

CERTIFICA:

Haber dirigido, asesorado, revisado y corregido el presente trabajo de tesis de grado, en su proceso de investigación cuyo tema versa en “**Estudio técnico para la automatización de dos sectores del sistema de riego Campana Malacatos**”, previa a la obtención del título de Ingeniero en Electrónica y Telecomunicaciones, realizado por el señor egresado: **Diego Fernando Maldonado Pineda**, la misma que cumple con la reglamentación y políticas de investigación, por lo que autorizo su presentación y posterior sustentación y defensa.



Ing. Julio Cesar Cuenca Tinitana, Mg. Sc.

DIRECTOR DE TESIS

AUTORÍA

Yo, **DIEGO FERNANDO MALDONADO PINEDA**, declaro ser el autor del presente trabajo de tesis y eximo expresamente a la Universidad Nacional de Loja y a sus representantes jurídicos de posibles reclamos o acciones legales, por el contenido de la misma.

Adicionalmente acepto y autorizo a la Universidad Nacional de Loja, la publicación de mi tesis en el Repositorio Institucional-Biblioteca Virtual.



.....

Firma:

Cedula: 1104607278.

Fecha: 03/08/2015

CARTA DE AUTORIZACIÓN

CARTA DE AUTORIZACIÓN DE TESIS POR PARTE DEL AUTOR, PARA LA CONSULTA, REPRODUCCIÓN PARCIAL O TOTAL Y PUBLICACIÓN ELECTRÓNICA DEL TEXTO COMPLETO.

Yo **DIEGO FERNANDO MALDONADO PINEDA**, declaro ser autor de la tesis titulada: **ESTUDIO TÉCNICO PARA LA AUTOMATIZACIÓN DE DOS SECTORES DEL SISTEMA DE RIEGO CAMPANA MALACATOS**, como requisito para optar al grado de: **INGENIERO EN ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES**; autorizo al Sistema Bibliotecario de la Universidad Nacional de Loja para que con fines académicos, muestre al mundo la producción intelectual de la Universidad, a través de la visibilidad de su contenido de la siguiente manera en el Repositorio Digital Institucional:

Los usuarios pueden consultar el contenido de este trabajo en el RDI, en las redes de información del país y del exterior, con las cuales tenga convenio la Universidad.

La Universidad Nacional de Loja, no se responsabiliza por el plagio o copia de la tesis que realice un tercero.

Para constancia de esta autorización, en la ciudad de Loja, a los tres días del mes de agosto del dos mil quince.



Firma:

Autor: Diego Fernando Maldonado Pineda.

Cédula: 1104607278

Dirección: Loja (José Antonio Eguiguren y Epiclachima)

Correo Electrónico: dfmlado@gmail.com

Teléfono: 2579441 **Celular:** 0993866061

DATOS COMPLEMENTARIOS

Director de Tesis: Ing. Julio Cesar Cuenca Tinitana, Mg.Sc.

Tribunal de Grado: Ing. Juan Manuel Galindo Vera, Mg. Sc.

Ing. Luis Enrique Chuquimarca Jiménez, M.I.

Ing. Ángel José Ordoñez Mendieta, Mg. Sc.

DEDICATORIA

Dedico esta tesis a mi familia y en especial a mis padres, ya que con su incondicional amor y ejemplos dignos de superación y entrega, dentro de mi formación académica, así como integral, han logrado que este esfuerzo se culmine con éxito. Por su total apoyo en los momentos más difíciles de mi carrera, puesto que siempre me han ayudado a enfrentar con valentía cada obstáculo presentado.

AGRADECIMIENTO

Agradezco por toda la eternidad a mis padres y hermanos por su ayuda y entrega incondicional. Un especial agradecimiento para Roxana Y., por apoyarme siempre, por creer en mí, le estaré eternamente agradecido. Extendiendo un agradecimiento al Ing. Julio Cuenca por su paciencia y dedicación con las indicaciones impartidas en el desarrollo y entrega de este trabajo.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

CERTIFICACIÓN	II
AUTORÍA	III
CARTA DE AUTORIZACIÓN	IV
DEDICATORIA	V
AGRADECIMIENTO.....	VI
ÍNDICE DE CONTENIDOS	VII
ÍNDICE DE FIGURAS	XII
ÍNDICE DE TABLAS	XVI
a. TÍTULO.....	XVII
b. RESUMEN	XVIII
b.1. ABSTRACT.....	XIX
c. INTRODUCCIÓN	XX
d. REVISIÓN DE LITERATURA.....	1
d.1. CAPÍTULO I: SISTEMAS DE RIEGO.....	1
D.1.1. INTRODUCCIÓN.....	1
D.1.2. LOS SISTEMAS DE RIEGO.....	2
<i>d.1.2.1. Importancia del riego</i>	<i>3</i>
D.1.3. TIPOS DE SISTEMAS DE RIEGO.....	3
<i>d.1.3.1. Sistemas de riego en parcelas.....</i>	<i>4</i>
d.1.3.1.1. Sistema de riego por gravedad.....	5
d.1.3.1.2. Sistema de riego por aspersión.....	6
d.1.3.1.3. Sistema de riego localizado.....	7
<i>d.1.3.2. Sistema de riego por canales.....</i>	<i>8</i>
d.1.3.2.1. Clasificación de los sistemas de riego por canales.....	10
D.1.4. ELEMENTOS DE UNA RED DE CANALES DE RIEGO.....	11
<i>d.1.4.1. Obra de captación.....</i>	<i>12</i>
<i>d.1.4.2. Sistema de bombeo.....</i>	<i>12</i>
<i>d.1.4.3. Obras de regulación y/o almacenamiento.....</i>	<i>12</i>
<i>d.1.4.4. Sistema de canales.....</i>	<i>13</i>

d.1.4.5.	<i>Tanques de repartición</i>	13
d.1.4.6.	<i>Red de distribución</i>	14
d.1.4.7.	<i>Tomas de riego o hidrantes</i>	15
d.1.4.8.	<i>Elementos de control y regulación en los sistemas de canales</i>	15
d.1.4.8.1.	Control manual local.....	16
d.1.4.8.2.	Control automático local.....	17
d.1.4.8.3.	Control supervisado.....	18
d.1.4.8.4.	Sistema de control combinado.....	18
d.1.4.9.	<i>Sectores de riego</i>	19
D.1.5.	EFICIENCIA DE LOS SISTEMAS DE CANALES DE RIEGO.....	20
d.1.5.1.	<i>Principales problemas de los sistemas de canales de riego</i>	20
D.1.6.	COMUNIDAD REGANTE.....	22
d.2.	CAPÍTULO II: AUTOMATIZACIÓN DE SISTEMAS DE CANALES DE RIEGO	23
D.2.1.	INTRODUCCIÓN.....	23
D.2.2.	AUTOMATIZACIÓN Y CANALES DE RIEGO.....	24
D.2.3.	ELEMENTOS DE UN SISTEMA DE AUTOMATIZACIÓN.....	25
d.2.3.1.	<i>Controlador lógico programable, PLC</i>	25
d.2.3.1.1.	Funcionamiento del controlador lógico programable.....	26
d.2.3.1.2.	Características de un controlador lógico programable.....	27
d.2.3.1.3.	Señales de entra y salida.....	27
d.2.3.2.	<i>Transductores, sensores y actuadores</i>	28
d.2.3.2.1.	Sensores.....	28
d.2.3.2.1.1.	Clasificación de Sensores.....	29
d.2.3.2.2.	Actuadores.....	30
d.2.3.3.	<i>Sensores y actuadores en sistemas de canales de riego</i>	30
d.2.3.3.1.	Sensores de nivel.....	31
d.2.3.3.2.	Compuertas de canal.....	32
D.2.4.	SISTEMAS DE AUTOMATIZACIÓN DE CANALES DE RIEGO.....	34
d.2.4.1.	<i>Sistemas HMI</i>	34
D.2.5.	SISTEMAS DE AUTOMATIZACIÓN DE CANALES DE RIEGO CON TELECONTROL.....	35
d.2.5.1.	<i>Características de un sistema de automatización con telecontrol</i>	36
d.2.5.1.1.	Características a exigir en un sistema de telecontrol.....	38
d.2.5.2.	<i>Elementos del sistema de canales de riego automatizado</i>	39
d.2.5.2.1.	Centro de control.....	40
d.2.5.2.2.	Estaciones concentradoras.....	41
d.2.5.2.3.	Estaciones remotas (RTU).....	41
d.2.5.2.4.	Actuadores y sensores.....	42

D.2.6.	SISTEMAS DE SUPERVISIÓN, CONTROL Y ADQUISICIÓN DE DATOS, SCADA.	42
d.2.6.1.	<i>Prestaciones de un sistema SCADA</i>	43
d.2.6.2.	<i>Ventajas</i>	44
d.2.6.3.	<i>Arquitectura de un sistema SCADA</i>	45
d.2.6.3.1.	Hardware.....	47
d.2.6.3.1.1.	Interfaz Hombre-Máquina, HMI.	48
d.2.6.3.1.2.	Unidades Centrales.....	49
d.2.6.3.1.3.	Unidades Remotas, RTU.....	49
d.2.6.3.1.4.	Sistemas de Comunicación.....	50
d.2.6.3.1.5.	Topologías.....	51
d.2.6.4.	Software.....	52
d.2.6.4.1.1.	Comunicación entre Aplicaciones.....	53
d.2.6.4.1.2.	Almacenamiento de Datos.....	57
d.2.6.4.1.3.	Módulos de un sistema SCADA.....	58
d.2.7.	<i>Sistema SCADA en sistemas de canales de riego</i>	62
d.3.	CAPÍTULO III: CONTROL AUTOMATIZADO DE CANALES DE RIEGO.....	65
D.3.1.	INTRODUCCIÓN.....	65
D.3.2.	FUNDAMENTOS DE AUTOMATIZACIÓN DEL SISTEMA DEL CANAL.....	66
d.3.2.1.	<i>Objetivos y beneficios</i>	66
d.3.2.2.	<i>Operación y control del canal</i>	68
d.3.2.2.1.	Operación del canal.....	68
d.3.2.2.2.	Control básico.....	69
d.3.2.2.2.1.	Elementos Básicos de Control.....	70
d.3.2.3.	<i>Requerimientos básicos de operación</i>	71
d.3.2.4.	<i>Entrega y demanda</i>	72
d.3.2.5.	<i>Aplicaciones de automatización</i>	73
D.3.3.	MÉTODOS DE CONTROL DE SISTEMA DE CANALES.....	74
d.3.3.1.	<i>Control manual local</i>	75
d.3.3.2.	<i>Control automático local</i>	75
d.3.3.3.	<i>Control supervisado</i>	77
d.3.3.3.1.	Control manual supervisado.....	78
d.3.3.3.2.	Control automático supervisado.....	79
d.3.3.4.	<i>Método de control combinado</i>	81
D.3.4.	ALGORITMO DE CONTROL.....	82
d.3.4.1.	<i>Algoritmo básico</i>	83
d.3.4.2.	<i>Algoritmo de control supervisado</i>	84
d.3.4.2.1.	Algoritmo EL-FLO.....	85
d.3.4.2.2.	El algoritmo P+PR.....	86

D.3.5.	COMPONENTES DEL CONTROL AUTOMÁTICO.....	87
d.3.5.1.	<i>Centro de control</i>	88
d.3.5.2.	<i>Estaciones remotas</i>	89
d.3.5.3.	<i>Sensores</i>	90
d.3.5.4.	<i>Sistemas de comunicación</i>	91
d.4.	CAPÍTULO IV: SISTEMAS DE RIEGO CAMPANA-MALACATOS	94
D.4.1.	INTRODUCCIÓN.....	94
D.4.2.	DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE RIEGO.....	94
d.4.2.1.	<i>Ubicación geográfica</i>	96
d.4.2.2.	<i>Condiciones climáticas</i>	98
d.4.2.3.	<i>Comunidad regante</i>	98
d.4.2.3.1.	Organización de la junta de riego.....	99
d.4.2.3.2.	Producción agrícola.....	100
d.4.2.3.3.	Tipos de sistemas de riego en las parcelas.....	101
d.4.2.4.	<i>Sistema de canales</i>	101
d.4.2.4.1.	Fuente de captación y microcuenca.....	101
d.4.2.4.2.	Canal principal.....	103
d.4.2.4.3.	Red de distribución.....	105
d.5.	CAPÍTULO V: PROPUESTA DE IMPLEMENTACIÓN.....	106
D.5.1.	INTRODUCCIÓN.....	106
D.5.2.	SISTEMA GENERAL.....	107
D.5.3.	ESTACIÓN REMOTA, RTU.....	108
d.5.3.1.	<i>Controlador lógico programable, PLC</i>	109
d.5.3.1.1.	Programación del PLC.....	110
d.5.3.2.	<i>Sensores</i>	117
d.5.3.3.	<i>Actuadores</i>	120
d.5.3.3.1.	Compuerta de Control.....	120
d.5.3.3.2.	Motores.....	122
d.5.3.3.2.1.	Alimentación eléctrica.....	123
D.5.4.	SISTEMA DE ENERGÍA AUXILIAR CON PANELES SOLARES.....	124
D.5.5.	SISTEMA DE COMUNICACIÓN.....	126
d.5.5.1.	<i>Antenas</i>	127
d.5.5.2.	<i>Simulación</i>	128
D.5.6.	ESTACIÓN CENTRAL.....	131
d.5.6.1.	<i>Software SCADA-Vijeo Citect</i>	132

d.5.6.1.1.	Requerimientos del sistema.....	134
d.5.6.1.2.	Comunicación.....	135
e.	MATERIALES Y MÉTODOS	137
E.1.	MATERIALES.....	137
E.2.	MÉTODOS.....	137
f.	RESULTADOS.	138
<i>f.1.</i>	<i>Propuesta de implementación.....</i>	<i>138</i>
<i>f.1.1.</i>	<i>Estación Central.....</i>	<i>139</i>
<i>f.1.2.</i>	<i>Estaciones Remotas.....</i>	<i>140</i>
<i>f.1.3.</i>	<i>Sistema automatizado.....</i>	<i>142</i>
g.	DISCUSIÓN.....	151
h.	CONCLUSIONES.....	153
i.	RECOMENDACIONES.....	155
j.	BIBLIOGRAFÍA.....	157
k.	ANEXOS.....	160
	ANEXO I: SISTEMA DE COMUNICACIÓN.....	160
	ANEXO II: FORMULARIOS.....	162
	ANEXOS III: PROGRAMADOR LÓGICO PROGRAMABLE.....	171
	ANEXOS IV: SISTEMA DE ENERGÍA AUXILIAR.....	173

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Canteros tradicionales para el riego de arroz en Baixo Mondego - Portugal [3].....	5
Figura 2. Aspersores agrícola circular VYR-36 [4].	6
Figura 3. Sistema de riego por goteo [5].....	7
Figura 4. Acueducto del sistema de riego Campana Malacatos. [Autoría propia].....	8
Figura 5. Figura 5. Clasificación de Sistemas de Canales [7].	11
Figura 6. Esquema de sistema de canales de riego [7].	14
Figura 7. Compuerta del Canal de Pinyana (Lleida, España) [8].	16
Figura 8. Componentes de un automatismo [10].	25
Figura 9. Controlador Lógico Programable Siemens S7-1200 [11].	26
Figura 10. Sensor ultrasónico Banner, modelo U-GAGE T30 [16].	32
Figura 11. Compuerta de canal automatizado de la empresa RIEGOSALZ [8].	33
Figura 12. Panel HMI Simatic KTP600 Basic mono PN de Siemens [11].	35
Figura 13. Esquema básico de un sistema de telecontrol para riego. [13]	37
Figura 14. Esquema de la automatización de un sistema de riego [13].	40
Figura 15. Centro de Control [13].	40
Figura 16. Interacción del Usuario y el Sistema. [Autoría propia]	46
Figura 17. Representación básica de un sistema SCADA [17].	47
Figura 18. SCADA, arquitectura básica de hardware. [17].	48
Figura 19. Topologías en los sistemas SCADA. [Autoría propia]	52
Figura 20. Comunicaciones OPC [17].	55
Figura 21. Controladores específicos [17].	61
Figura 22. Controladores genericos [17].	62
Figura 23. Sistema de control de lazo cerrado simple. [Autoría propia].....	71
Figura 24. Canal principal del sistema de riego Campana Malacatos. [Autoría propia].....	95

Figura 25. Sistema de Riego Campana-Malacatos. [20]	96
Figura 26. Ubicación geográfica del canal principal del sistema Campana-Malacatos. [Autoría propia]	97
Figura 27. Comunidad Regante del Sistema de riego Campana Malacatos [20]	99
Figura 28. Bocatoma del sistema de riego Campana-Malacatos. [21]	102
Figura 29. Tramo del Canal Principal del Sistema de Riego Campana Malacatos. [Autoría propia]	103
Figura 30. Elementos que se encuentran a lo largo del canal principal. [Autoría propia]	103
Figura 31. Esquema del sistema riego Campana-Malacatos [20].	104
Figura 32. Red de Distribución del Sistema de Riego Campana-Malacatos [20].	105
Figura 33. Esquema general del sistema de control del canal. [Autoría propia]	107
Figura 34. Ubicación de las Estaciones Remotas en el canal principal. [Autoría propia]	109
Figura 35. Esquema de funciones del controlador lógico programable, PLC. [Autoría propia]	110
Figura 36. PLC Siemens S7 1200, programación en software TIA Portal STEP 7. [Autoría propia]	111
Figura 37. Escalado de la señal de nivel. [Autoría propia]	111
Figura 38. Niveles deseados de agua. [Autoría propia]	112
Figura 39. Control de la compuerta. [Autoría propia]	113
Figura 40. Tiempo de espera. [Autoría propia]	113
Figura 41. Comparar nivel del agua. [Autoría propia]	114
Figura 42. Paro de emergencia. [Autoría propia]	114
Figura 43. Ausencia de suministro eléctrico convencional y activación de energía auxiliar. [Autoría propia]	115
Figura 44. Restablecimiento de energía eléctrica convencional y desactivación de energía convencional. [Autoría propia]	115
Figura 45. Señal de alarma. [Autoría propia]	116
Figura 46. Variables en la programación. [Autoría propia]	117
Figura 47. Sensor ultrasónico Rosemount 3101 de Emerson Process Management [22].	118

Figura 48. Aplicación típica del sensor Rosemount de la serie 3100 [22].	118
Figura 49. Diagrama de cableado para el modelo 3101 [22].	119
Figura 50. Ubicación de los sensores de nivel en el canal principal. [Autoría propia]	119
Figura 51. Compuerta de control del canal principal. [Autoría propia]	121
Figura 52. Vistas de la compuerta de control del canal principal. [Autoría propia]	122
Figura 53. Motor de 3/4 HP a 220 V ac, 2800 rpm [23].	122
Figura 54. Esquema eléctrico de la compuerta de control. [Autoría propia]	124
Figura 55. Sistema de energía auxiliar con paneles solares. [Autoría propia]	125
Figura 56. Esquema del sistema de comunicación. [Autoría propia]	126
Figura 57. Localización de las RTU y la Estación Central. [Autoría propia.]	127
Figura 58. Antena airGrid M5 HP de la marca Ubiquiti [24].	128
Figura 59. Simulación de radioenlaces en el software Radio Mobile. [Autoría propia]	129
Figura 60. Radioenlace de la Compuerta N-1 a la Estación Central ubicada en Landangui. [Autoría propia]	129
Figura 61. Radioenlace de la Compuerta N-2 a la Estación Central ubicada en Landangui. [Autoría propia]	130
Figura 62. Radioenlaces de comunicacaión. [Autoría propia]	130
Figura 63. Radioenlace entre la RTU 1 y la Estación Central. [Autoría propia]	131
Figura 64. Radioenlace entre la RTU 2 y la Estación Central. [Autoría propia]	131
Figura 65. Pantalla del Citect Explorer. [Autoría propia]	133
Figura 66. Pantalla del Citect Project Editor. [Autoría propia]	133
Figura 67. Pantalla del Citect Graphics Builder. [Autoría propia]	134
Figura 68. Comunicación del sistema SCADA Vijeo Citect. [Autoría propia]	135
Figura 69. Ubicación de las Estaciones Remotas y la Estación Central. [Autoría propia]	138
Figura 70. Diseño del SCADA para la automatización del sistema de riego Campana Malacatos. [Autoría propia]	143
Figura 71. Se crea el grupo de trabajo, la red, se levanta los servidores de alarmas, tendencias, reportes, etc.	143

Figura 72. Captura del funcionamiento del SCADA Vijeo Citect. [Autoría propia]	144
Figura 73. Edición del sistema SCADA Vijeo Citect. [Autoría propia]	144
Figura 74. Sistemas SCADA, control de compuertas. [Autoría propia]	145
Figura 75. Editor principal de Vijeo Citect. [Autoría propia]	145
Figura 76. Radioenlace entre la Estación Remota 1 y la Estación Central. [Autoría propia] ...	148
Figura 77. Radioenlace entre la Estación Remota 2 y la Estación Cental. [Autoría propia].....	148
Figura 78. Simulación del sistema de comunicación. [Autoría propia]	149
Figura 79. Esquema del sistema de energía auxiliar con paneles solares. [Autoría propia]	150

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Producción del Sistema de Riego Campana-Malacatos.....	100
Tabla 2. Elementos de la Estación Central.....	139
Tabla 3. Elementos de control de las Estaciones Remotas.....	140
Tabla 4. Elementos de fuerza de las Estaciones Remotas.....	141
Tabla 5. Elementos de comunicación de las Estaciones Remotas.....	141
Tabla 6. Elementos de la energía auxiliar de las Estaciones Remotas.....	142

a. TÍTULO

**ESTUDIO TÉCNICO PARA LA AUTOMATIZACIÓN DE DOS
SECTORES DEL SISTEMA DE RIEGO CAMPANA MALACATOS**

b. RESUMEN

El presente trabajo de investigación, previo a optar por el título de Ingeniero en Electrónica y Telecomunicaciones, incluye un breve estudio sobre los sistemas de riego, sobre todo los sistemas de canales de riego, sus elementos, su importancia, entre otros. Además se presenta un análisis de los sistemas de automatización enfocados a los sistemas de canales de riego, de igual forma, se analiza los métodos de control en los sistemas de riego automatizados, exponiendo varios métodos y en qué casos normalmente se usan. En el siguiente capítulo se muestra la situación actual del sistema de riego Campana Malacatos, sus características más relevantes. Posteriormente se encuentra la propuesta del sistema automatizado de canales de riego escogido, aquí se señalan los equipos, las simulaciones, la programación, forma de conexión y las demás características del sistema. En los resultados del presente trabajo se incluye los presupuestos y valores tentativos que tendría la implementación del sistema. El trabajo de investigación finaliza con las respectivas conclusiones y recomendaciones, además con los pertinentes anexos.

PALABRAS CLAVES: Canales de riego, automatización, PLC, radioenlace, SCADA, paneles solares.

b.1. ABSTRACT

This research work, required to obtain the degree in Electronics and Telecommunications includes a brief study of the irrigation systems, especially the systems of canals of irrigation, their elements, their importance, among others. Besides, an analysis of the automation of systems, directed to the systems of irrigation canals is given here. Additionally, this research paper includes an analysis of the methods of control of the automated irrigation systems, exposing several methods and explaining when they are normally used. The next chapter shows the present situation of the irrigation system of Campana Malacatos and their most important characteristics. Subsequently, the proposal on the automated system of irrigation canals exposes the equipment, the simulations, the program, the form of connection and other characteristics of the system. Finally, the chapter regarding the results of this research work shows the conclusions and recommendations as well as the corresponding annexes.

c. INTRODUCCIÓN

Para la producción agrícola el recurso hídrico es algo indispensable, no se puede cultivar si la tierra no tiene la suficiente agua para mantener a los cultivos. Cuando las zonas de cultivo no tienen la cantidad de agua que requieren, se hace necesario el obtener este recurso de otros lugares, aquí intervienen los sistemas de riego. Los sistemas de riego son el conjunto de estructuras que se encargan de hacer llegar el recurso hídrico a las áreas de cultivo y sus elementos principales son: el agua, los canales por donde se dirige, las fuentes de captación y las parcelas o terrenos donde se realiza el cultivo. Se puede diferenciar los sistemas de riego dentro de parcelas, que son sistemas relativamente pequeños, y los sistemas de riego por medio de canales que llevan el agua a las comunidades regantes, estos sistemas son de grandes longitudes y representan fuertes gastos, por lo que en su mayoría son manejados de forma gubernamental.

El agua es un recurso indispensable para la actividad agrícola, por ello debe ser manejado con precaución, tratando de disminuir al máximo las pérdidas. Si bien tres cuartas partes del planeta están constituidos por agua, solo el 2.5% es agua dulce y solo el 0.4% es agua superficial, que se puede aprovechar fácilmente.

El riego es la actividad que más agua demanda a nivel mundial, bordeando el 80% del agua destinada a todos los usos. En general, a pesar de que el Ecuador aún gozamos con un buen nivel de recursos hídricos, es necesario el enfoque técnico a este tema, ya que cada vez se hace más notorio el cambio en las fuentes de captación, producto del calentamiento global. Incluso ya se puede presenciar el malestar en algunas zonas de la Provincia de Loja, en la que el recurso hídrico es escaso. La automatización de los sistemas de canales de riego puede llevar a la mejor utilización de este recurso hídrico, además de mejorar la prestación de los servicios del sistema.

El presente trabajo recoge una investigación amplia que empieza con la recolección de información con respecto a los sistemas de riego por canales. En el segundo capítulo se detalla información referente a los sistemas de automatización, siempre poniendo énfasis en los sistemas de riego por canales. En el tercer capítulo se analiza los sistemas de control en los sistemas automatizados de canales de riego. En el cuarto capítulo se detalla la situación actual del sistema de riego Campana Malacatos. En el quinto capítulo se desarrolla la propuesta del sistema de automatización para el sistema de riego Campana Malacatos. Los resultados obtenidos son analizados en los capítulos siguientes de conclusiones y recomendaciones.

d. REVISIÓN DE LITERATURA

d.1. CAPÍTULO I: SISTEMAS DE RIEGO

d.1.1. Introducción.

Los sistemas de riego son el conjunto de estructuras que se encargan de hacer llegar el recurso hídrico a las áreas de cultivo. Estos sistemas constan de una serie de componentes, en donde los elementos principales son: el agua, los canales por donde se dirige, las fuentes de captación y las parcelas o terrenos donde se realiza el cultivo.

El agua es un recurso indispensable para la actividad agrícola, por ello debe ser manejado con precaución, tratando de disminuir al máximo las pérdidas. Si bien tres cuartas partes del planeta están constituidos por agua, solo el 2.5% es agua dulce y solo el 0.4% es agua superficial, que se puede aprovechar fácilmente. El riego es la actividad que más agua demanda a nivel mundial, bordeando el 80% del agua destinada a todos los usos. En el Ecuador, el Consejo Nacional de Recursos Hídricos, señala que en promedio, la actividad agrícola hace uso del 82% del consumo total del agua, mientras que el 12% se utiliza para uso doméstico y el restante 6% para uso industrial [1].

Al hablar de sistemas de riego, se diferencian dos grupos, los sistemas de riego dentro de las parcelas, que es donde se realiza la actividad agrícola como tal, y los sistemas de riego que se encargan de hacer llegar el agua a estos lugares, llamado sistema de riego por canales.

Entre las principales diferencias entre estos dos sistemas, está el costo y su aplicación, ya que la implementación de sistemas de riego dentro de parcelas se lo realiza con inversiones privadas y se aplica únicamente al perímetro de la zona regante, aplicando el agua directamente a los cultivos. Existen distintos sistemas de riego que se pueden aplicar dentro de las parcelas, adecuándose a las necesidades de los cultivos y a las realidades que presenta la zona de riego, los sistemas de riego más usados son el riego superficial, riego por aspersores y el riego localizado.

En cambio, los sistemas de riego por canales, son estructuras de grandes dimensiones, que en su mayoría son manejados por entidades públicas debido a sus altos costos y a las implicaciones

sociales y económicas que tiene. Los sistemas de riego por canales llevan el agua desde los puntos de suministro, que puede ser un río, un lago, o de fuentes subterráneas, hasta las zonas de cultivo, que se pueden encontrar a cientos de kilómetros de la bocatoma del sistema.

La red de transporte del sistema, cuenta con un canal principal, que se ramifica y se reparte en las distintas agrupaciones de regantes pertenecientes al sistema. Esta red de transporte incluye elementos singulares y de regulación como: compuertas, vertederos, embalses, bombas, canales de derivación, acueductos (puente con agua), túneles, etc., según los requerimientos del sistema.

d.1.2. Los sistemas de riego.

Los sistemas de riego son el conjunto de estructuras que se encargan de hacer llegar el recurso hídrico a las áreas de cultivo. Estos sistemas constan de una serie de componentes, en donde los elementos principales son: el agua, los canales por donde se dirige, las fuentes de captación y las parcelas o terrenos donde se realiza el cultivo.

En lugares donde el recurso hídrico es escaso, se vuelve indispensable la utilización de tecnología para poder solventar las necesidades de los suelos de cultivos. Las distintas realidades que se pueden presentar hacen que se produzcan múltiples soluciones con distintas herramientas, dando origen a distintos sistemas de riego. Los sistemas de riego dentro de parcelas son los que han tenido mayor penetración de tecnología para mejorar sus eficiencias, destacándose los sistemas de riego por aspersión y por goteo.

Los sistemas de riego por canales presentan distintas características debido a las grandes distancias que deben cubrir. La mayoría de los sistemas de riego suelen contar con un canal principal formado por una estructura de concreto, que toma el agua desde la bocatoma del sistema y la traslada a las distintas divisiones o ramificaciones, hasta llegar a la toma de cada parcela. Los canales, por lo general, suelen ser estructuras rectangulares revestidas, aunque en los ramales más alejados suelen ser de tierra y más estrechos. También cuentan con distintos elementos como drenajes, tuberías, acueductos, túneles, entre otros.

Para optimizar el uso del agua en los sistemas de canales se debe mejorar el servicio que prestan, enfocándose en parámetros como: el volumen de agua que se requiere en las parcelas,

la frecuencia con que la necesitan, la duración del tiempo de riego y la oportunidad que tiene el regante de utilizar el agua.

d.1.2.1. Importancia del riego

El riego cumple múltiples funciones de gran importancia tanto en el ámbito productivo, social, ambiental y económico.

En el ámbito productivo, las contribuciones del riego son:

- Solución a los problemas de distribución espacial y temporal del agua
- Incremento y diversificación de la producción
- Mitigación de riesgos, particularmente de sequías y heladas

En el ámbito social, el riego tiene implicaciones importantes:

- Contribución a la estabilización de precios de los productos agrícolas
- Generación de empleo y atenuación de la migración rural
- Articulación de la organización y movilización social en el agro

Desde una perspectiva ambiental, el riego es o puede ser un factor que limita la expansión de la frontera agrícola hacia ecosistemas frágiles.

Visto desde otra perspectiva, el aporte de la actividad agrícola para el Ecuador es fundamental. De modo aproximado, representa el 17% del Producto Interno Bruto, y el valor de la producción bajo riego, se estima en el 70% de la producción agrícola total [2].

d.1.3. Tipos de sistemas de riego.

Los tipos de sistemas de riego se pueden dividir en dos grupos, los sistemas de riego localizados al interior de las parcelas y los sistemas de riego por canales.

El sistema de riego en parcelas tiene la característica de involucrar infraestructuras no muy grandes, que son accesibles para el normal de los regantes. Estos sistemas de riego tienen como

límite el perímetro de la zona regante, y en general, tienen un mayor control de las variantes que se presentan, como puede ser, la humedad del suelo, la temperatura dentro de la parcela, el tiempo de regado en el cultivo, la cantidad de agua que recibe cada planta, entre otros. El principal objetivo de los sistemas de riego dentro de las parcelas es el encontrar la mejor forma de aplicar el recurso hídrico a los cultivos, aquí se realiza la actividad agrícola en sí.

En cambio, los sistemas de red de riego por canales, son estructuras de gran tamaño, que pueden cubrir distancias de cientos de kilómetros, implicando costos muy elevados. Por lo general, la realización de estos sistemas es manejado por entidades públicas. El principal objetivo de los sistemas de riego por canales es el hacer llegar el recurso hídrico desde una fuente de agua, que puede ser un río, un lago, un reservorio, etc., hasta las zonas en donde se encuentran las parcelas, para que en ellas se pueda realizar la actividad agrícola.

d.1.3.1. Sistemas de riego en parcelas.

El sistema de riego al interior de las parcelas se desarrolla de distintas formas y con distintos grados de inversión, por ejemplo, existen sistemas de riego en los que la inversión en costos de infraestructura no es muy elevada, éste es el caso de los sistemas de riego por gravedad, en donde, si las condiciones geográficas son favorables, la inversión en el sistema de riego es mínima.

Los sistemas de riego más populares, dentro de parcelas, son los sistemas de riego por gravedad, por aspersión y por goteo. Según los datos del III Censo Nacional Agropecuario, los sistemas de riego dentro de parcelas más usados en el Ecuador, son los sistemas de riego por gravedad con 432.147 hectáreas, los sistemas de riego por bombeo con 220.842 hectáreas, los sistemas por aspersión con 170.058 hectáreas y los sistemas de riego por goteo con 19.401 hectáreas [1].

Los sistemas de riego más sofisticados presentan mejoras en el ahorro del recurso hídrico pero con la necesidad de aumentar la inversión económica para cubrir la infraestructura que se necesita. Los avances en términos de equipamiento son principalmente importantes en los sistemas de riego por bombeo, aspersión, y riego por goteo. Actualmente se puede encontrar aspersores y emisores cada vez más sofisticados, sistemas de tuberías y rampas en sistemas de bombeo que permiten mayores funcionalidades, equipamientos para aplicación de fertilizantes, y en equipamientos de control y automatización.

d.1.3.1.1. Sistema de riego por gravedad.

El sistema de riego por gravedad es el método más antiguo y de menor costo en instalación y mantenimiento, consiste en dirigir una corriente de agua desde una fuente abastecedora hacia los campos y aplicarla directamente a la superficie del suelo con ayuda de la gravedad, cubriendo total o parcialmente el suelo.

El riego por gravedad en el Ecuador, según datos del III Censo Nacional, cubriría el 77.8% de las áreas regadas en el país; sin embargo, en una publicación de AQUASAT (2000), este método de riego cubre el 95% de la superficie regada, lo que muestra que es el sistema de riego más popular entre los regantes [1].

En la sierra, se hace uso del riego por surcos, melgas e inundación, sobre todo para el riego de pastos, aprovechando las pendientes y la ubicación de las fuentes de agua en las zonas altas para conducir el agua mediante acequias. Mientras que en la costa son muy utilizados los riegos por inundación, sobretodo en el cultivo del arroz, y los riegos por surcos que se utilizan mayormente en el cultivo de caña de azúcar.



Figura 1. Canteros tradicionales para el riego de arroz en Baixo Mondego - Portugal [3].

El sistema de riego por gravedad a pesar de ser el más usado y antiguo presenta serios inconvenientes, entre los principales se encuentran, las pérdidas de agua a lo largo del sistema, la necesidad de grandes volúmenes del líquido, la irregularidad topográfica especialmente en la sierra, la demanda de un fuerte control y monitoreo para evitar daños en los cultivos y la disponibilidad de mano de obra para el mantenimiento, lo que no permite regar a toda la parcela o parcelas.

d.1.3.1.2. Sistema de riego por aspersión.

El sistema de riego por aspersión es una modalidad en la cual el agua llega a las plantas en forma de lluvia localizada. Consiste en el uso de válvulas volumétricas que, como su nombre lo indica, controlan el volumen de agua deseado y se cierran automáticamente después de su suministro. En un nivel más avanzado, estas válvulas se pueden programar para funcionar según una secuencia determinada. Además, se puede utilizar unidades de control, que realicen la apertura y cierre de válvulas, permitiendo que varias parcelas puedan regarse sin la intervención de mano de obra.



Figura 2. Aspersores agrícola circular VYR-36 [4].

Los sistemas de riego por aspersión están compuestos por, una bomba accionada por un motor de combustión o eléctrico, que tiene la función de elevar el agua a partir de su origen, puede ser una balsa, un pozo o un río; y alimenta el sistema de riego con la presión necesaria para el funcionamiento de los aspersores. Por medio de tuberías, se conduce el agua a los ramales. La tubería principal puede estar enterrada o sobre el suelo, fija o móvil. El líquido es distribuido por los ramales del sistema donde se montan los aspersores. Los aspersores son los dispositivos que aplican el agua sobre el suelo y los cultivos en forma de gotas pequeñas, imitando la lluvia, y que constituyen los elementos principales en el diseño y calidad del sistema de riego [3].

En el Ecuador, el sistema de riego por aspersión se ha desarrollado especialmente en la costa, para cultivos de exportación como banano, flores, hortalizas y frutales, mientras que en la sierra ha tenido su principal aplicación en la producción de flores, frutales y espárragos, donde la alta rentabilidad de estos productos ha inducido a los agricultores a realizar inversiones en sus

instalaciones. A nivel campesino, el sistema por aspersión se utiliza sobretodo en el riego de pastizales, hortalizas, papas y maíz [1].

d.1.3.1.3. Sistema de riego localizado.

El sistema de riego localizado, o por goteo, es utilizado mayormente en zonas áridas, donde el recurso hídrico no es abundante. En este caso el agua se infiltra hacia las raíces de las plantas a través de tuberías que dejan caer gotas de este líquido, teniendo importantes cantidades de agua no desperdiciada. Éste es el sistema de riego dentro de parcelas que menos recursos hídricos utiliza.

Los sistemas de riego localizado están formados por una red de tuberías principales, secundarias y terciarias; y ramales portaemisores que normalmente van enterrados. Los dispositivos, a partir de los cuales se aplica el agua al suelo, se denominan emisores, los cuales se colocan a una misma distancia o en las zonas donde se encuentren las raíces del cultivo.



Figura 3. Sistema de riego por goteo [5].

La principal ventaja del riego localizado es el ahorro del agua, pero además cuenta con otras ventajas como el mantener un nivel de humedad constante en el suelo, sin encharcamientos. Se pueden usar aguas ligeramente salinas, ya que la alta humedad mantiene las sales más diluidas. Además, con el riego por goteo se puede aplicar fertilizantes disueltos y productos fitosanitarios o plaguicidas, directamente a la raíz de la planta. En el Ecuador no se ha presentado mayor desarrollo de estos sistemas de riego, aún se encuentra restringido a pocas parcelas dedicadas a cultivos intensivos, como la mora, el babaco, la fresa y algunos frutales [2].

d.1.3.2. Sistema de riego por canales.

El sistema de riego por canales está formado por elementos que permiten la captación, almacenamiento, regulación, tratamiento y transporte del agua desde su origen hasta cada una de las tomas en las parcelas, llegando en las debidas condiciones de presión y caudal de tal manera que garantice el correcto funcionamiento del riego [6].

La estructura de un sistema de riego por canales puede cubrir grandes áreas de cultivos, llegando a extenderse a decenas de kilómetros. La estructura del sistema de riego está estrechamente vinculada a las características de la zona de riego que cubre, tratando de utilizar las fuentes naturales de agua que se encuentren en niveles topográficos altos, y descendiendo suavemente hacia los lugares más bajos del sistema de riego.



Figura 4. Acueducto del sistema de riego Campana Malacatos. [Autoría propia]

Los sistemas de riego por canales cuentan con un canal principal y de mayor dimensión que tiene su inicio en la bocatoma del sistema de riego, que por lo general suele ser un río o quebrada, y se alargan hasta dividirse en canales secundarios y terciarios. Los canales secundarios y terciarios son de dimensiones más pequeñas e incluso de materiales distintos al del canal principal. La mayoría de los ramales producidos por estos canales tienen como objetivo hacer llegar el agua a las zonas de cultivo, donde se aprovechará el recurso hídrico con el sistema de riego dentro de parcela, que decida usar el agricultor.

La cimentación del conjunto de canales de riego es una de las partes más significativas en el costo de la inversión inicial del sistema de riego, debido a las grandes distancias que representa un solo canal en este sistema de riego.

Las extensiones de los canales de riego son muy variadas, van desde grandes canales para transportar varias decenas de metros cúbicos por segundo, en los llamados canales principales, hasta pequeños canales con capacidad para unos pocos litros por segundo, para los llamados canales de campo, que se encuentran en los últimos ramales del sistema de riego y lo más próximo a las zonas de riego.

Los sistemas de riego por canales en el Ecuador, según los datos del Tercer Censo Nacional Agropecuario y la Secretaría de Riego y Drenaje, prestan servicio a 1'152.000 hectáreas, pero además, se estima que 348.000 ha., adicionales están siendo regadas de manera ilegal, lo que representaría un total de 1'500.000 hectáreas equipadas con riego. AQUASTAT FAO (2006) estima que la superficie potencial de riego asciende a 3'136.085 ha, considerando la aptitud de los suelos para el riego y los recursos hídricos disponibles [1].

Del total de la superficie actualmente regada, 1'500.000 ha., los sistemas de riego construidos y administrados por el Estado cubren una superficie de 266.000 has, que representan el 18% de los sistemas de riego por canales en el Ecuador. El resto, se divide en los sistemas de riego empresariales y particulares, con 420.000 ha., que representa el 28%. Los sistemas comunitarios cuentan con 466.000 ha, que representan el 31%. Los sistemas sin concesión del agua, con 348.000 ha, representan el 23% final. Estas áreas están equipadas con la infraestructura necesaria para que se realice el riego, sin embargo, debido a los múltiples problemas que adolecen principalmente los sistemas de riego públicos y los sistemas de riego comunitarios/asociativos, el área efectivamente regada sería menor, estimándose en unas 942.100 ha [1].

Con una inversión que supera los 2.000 millones de dólares, el Estado ha construido 73 sistemas de riego, 51 de los cuales se encuentran en la Sierra y 22 en la Costa, no obstante lo cual, en esta región se encuentra el 57% del total de la superficie regada en el país y el 19.6% del total de las unidades de producción agropecuaria regadas en el ámbito nacional [2].

En la costa, las áreas bajo riego son 490.373 hectáreas, aunque en esta cifra se puede añadir algunas áreas serranas que se extienden hacia la costa. En la sierra, el área bajo riego es de 362.255 hectáreas, que representan cerca del 42% del total de la superficie con riego en el país. En esta región, en las estribaciones de la Cordillera de los Andes, se originan varios ríos que

alimentan tanto los sistemas hidrográficos de la costa que drenan en el Pacífico, como de la Amazonía que desembocan en el Atlántico. En la Amazonía, a pesar de ser la región natural más grande del país con 11.8 millones de hectáreas, según el Tercer Censo Nacional Agropecuario, sólo se encuentran sistemas de riego cubriendo a 614 ha., por lo que el porcentaje de área productiva con riego no llega al 1%. Por último, en el caso de la región insular, el área bajo riego es aún menor, con apenas 81 hectáreas [1].

d.1.3.2.1. Clasificación de los sistemas de riego por canales.

En forma general, los sistemas de canales están contruidos para transportar agua desde un punto a otro, y de acuerdo al objetivo que tenga el sistema, se pueden clasificar en los siguientes [7]:

- **Sistema de Canal de Entrega:** en este sistema el agua se transporta desde la bocatoma del canal, que es un gran reservorio de agua, hasta numerosos puntos que se encuentran a lo largo del canal, teniendo al final del canal un caudal mucho menor que el inicial.
- **Sistema de Canal Colector:** en este sistema se tiene numerosas entradas de agua a lo largo del canal. Como su nombre lo indica, este sistema recolecta el agua y lo transporta hasta el final del canal, obteniendo un caudal cada vez mayor a medida que incrementan las entradas de agua.
- **Sistema de Canal Conector:** en este sistema, el objetivo es simplemente transportar la misma cantidad del líquido. Por lo general, este sistema se utiliza en gran parte del canal principal de un sistema de riego, debido a la gran distancia entre la bocatoma del sistema y las redes de secundarias del sistema.

Los sistemas de riego por canales completos pueden incluir los sistemas de entrega, colector y conector, a lo largo de su estructura.

También se puede distinguir dos tipos de canales, los canales cerrados, en las que el agua es transportada en estructuras cerradas, por medio de tuberías o túneles, y los canales abiertos en donde el agua es transportada a través de canales con la parte superior descubierta.

Los sistemas de canales abiertos son los más comunes debido sobre todo a que representan menor inversión económica que los sistemas cerrados, pero en estos sistemas el flujo de agua es

más lento, alrededor de 200 veces más lento que un sistema de tuberías. El rango típico de velocidad de la onda de traslación en los canales es de 3 a 6 metros por segundo [7] .

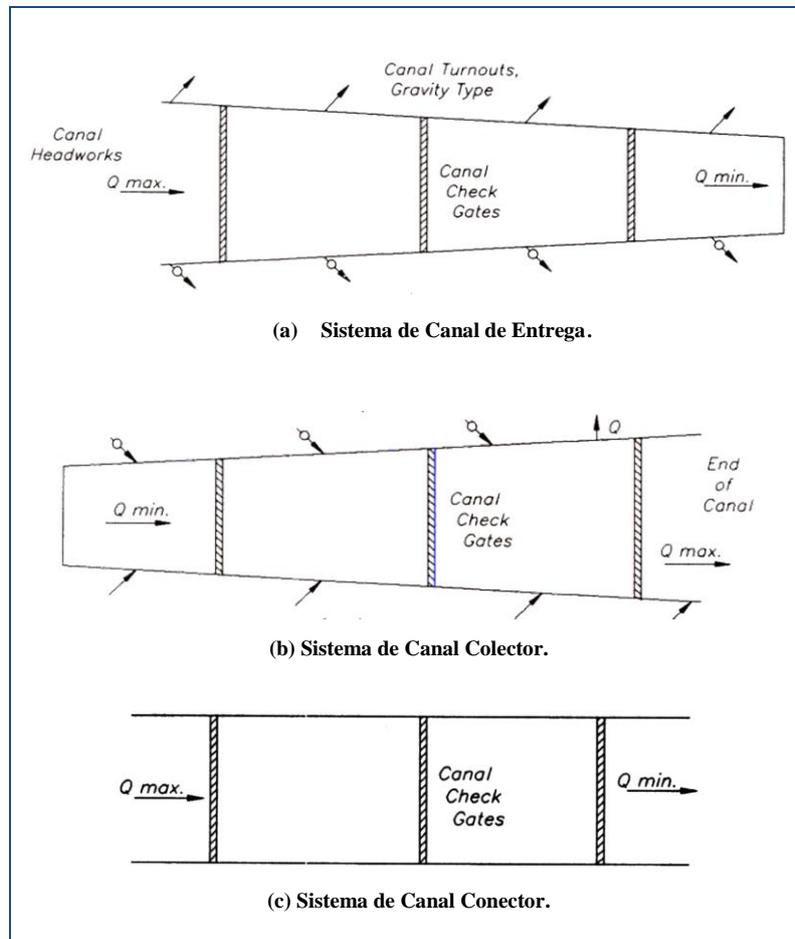


Figura 5. Clasificación de Sistemas de Canales [7].

d.1.4. Elementos de una red de canales de riego.

De forma general, una red de canales de riego se compone de: obras de captación, obras de almacenamiento y regulación, obras de transporte y distribución, obras de tratamiento y filtrado, obras de maniobra, protección y automatización, y por último obras de drenaje. Los elementos más importantes para el control del sistema de riego son las obras de captación, transporte, distribución y maniobra. Dentro de estos elementos se encuentran los sistemas de canales, las compuertas de control, los embalses, entre otros.

A continuación se detalla algunas de las partes de las que se compone una red de riego [7]:

d.1.4.1. Obra de captación.

La captación del recurso hídrico puede realizarse con agua superficial o subterránea. El agua superficial puede tratarse de ríos o quebradas con caudal suficiente para abastecer el sistema de canales de riego. Este sitio también se lo llama como la bocatoma del sistema, debido a que este es el inicio del sistema de canales, y en este lugar se recoge el agua que se usará para el riego en las zonas de cultivo más abajo.

Los embalses grandes de agua, que se presentan al inicio del sistema, también pueden ser usados para otras aplicaciones, como la generación de energía, la recreación, como abastecimiento para un sistema de agua para una ciudad, para la pesca y en general como un lugar turístico.

Se pueden presentar embalses a lo largo del sistema de canales que permiten regular el nivel y la presión del agua. En algunos casos se suele hacer uso de sistemas de bombeo para poder elevar el agua a embalses que realimentan a los canales.

d.1.4.2. Sistema de bombeo.

Los sistemas de bombeo se utilizan en lugares donde se necesita impulsar el agua a lugares más altos para que ésta llegue con la presión que se necesita en las parcelas. Por lo general los sistemas que cuentan con estaciones de bombeo también cuentan con un grado de automatismo que permita regular y controlar la demanda de caudal y presión necesaria en la red.

Las parcelas que se encuentran en lugares más altos que los sitios de donde se toma el agua del canal, hacen uso de sistemas de bombeo para hacer llegar el agua a sus reservorios localizado en una zona alta de sus terrenos y almacenar el agua para luego usarla.

d.1.4.3. Obras de regulación y/o almacenamiento.

Las obras de almacenamiento están compuestas por depósitos o balsas en las que se acumula el agua del sistema y que, en algunos casos, puede funcionar con caudal variable y en otros se hace

uso de bombas para proporcionar un caudal constante al sistema. Los depósitos de agua pueden encontrarse a lo largo del sistema de canales, con ellos se logra controlar el flujo del agua, permitiendo que la presión sea la adecuada para las parcelas que se encuentra más alejadas de la bocatoma del canal. Se usan sobretodo en sistemas de canales muy grandes.

d.1.4.4. Sistema de canales.

Los canales son los encargados de transportar el agua desde su fuente de captación hasta las zonas de cultivo. Por lo general, el canal principal es una estructura de concreto de forma rectangular, que en su mayoría se encuentra revestido, aunque en los tramos finales, se puede encontrar paredes del canal sin revestir, ya sea por motivos económicos o porque con el pasar del tiempo se ha desprendiendo esta capa.

Para los canales secundarios y terciarios de distribución, los canales toman distintas formas antes de llegar a las parcelas, para ello se puede utilizar tuberías o canales descubiertos sin revestimiento, incluso pueden llegar a ser canales de tierra o simplemente acequias por donde corre el agua.

El principal motivo de que los canales principales del sistema se encuentren revestidos, es para soportar la erosión que causa el traslado diario del agua, pero debido a los costos que implica, solo se suele tener revestido los canales principales.

Los sistemas de canales cuentan con varios elementos a lo largo de su trayecto, por ejemplo, se pueden presentar tomas de agua especial, válvulas de control, túneles, acueductos, conductos de drenaje, etc.; todo depende las características particulares del sistema.

d.1.4.5. Tanques de repartición.

Son elementos que distribuyen el caudal de sistema en varios caudales continuos en forma proporcional, de acuerdo a las superficies de las áreas a regar de cada sector servido por estos tanques. Para la repartición proporcional de caudales se utilizan vertederos (caudales mayores) u orificios (caudales menores).

d.1.4.6. Red de distribución.

Está formada por las redes que transportan el agua hasta los hidrantes, y cuenta con estaciones de filtración para evitar averías en el sistema. Dentro de la red de distribución se encuentra las obras de derivación, que como su nombre lo indica, se usa para derivar el agua desde un canal principal a uno secundario, o de este último hacia un canal terciario, o desde este terciario hacia el canal del campo. Para ello hacen uso de partidores, que generalmente se construye en hormigón, o en mampostería de piedra, están equipados con compuertas, algunos simples, que se usan de forma manual, también denominados tablachos, y otros que pueden llegar a ser sofisticados, que pueden ser manejados con ayuda de motores

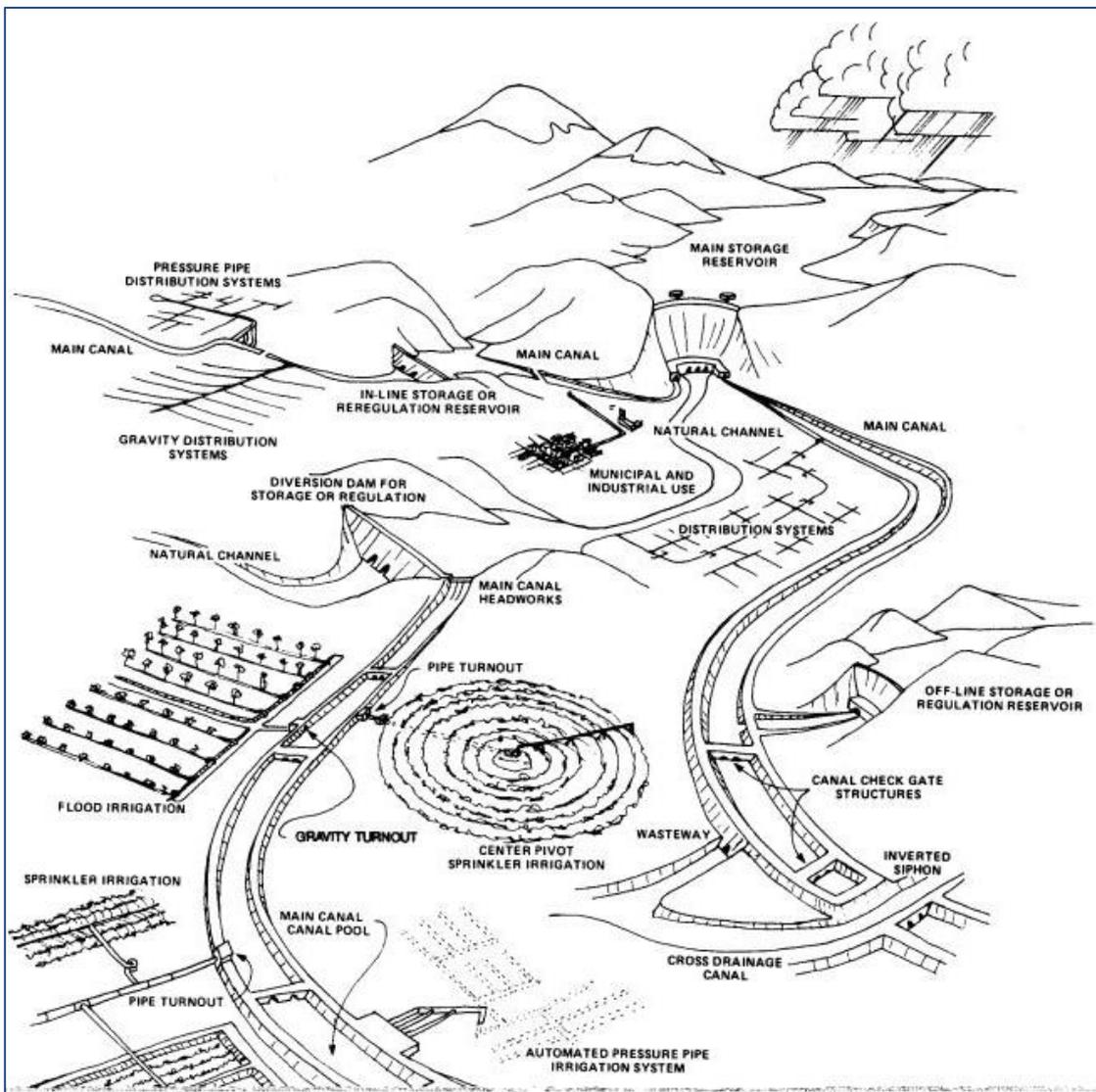


Figura 6. Esquema de sistema de canales de riego [7].

d.1.4.7. Tomas de riego o hidrantes.

Llamados también bornas o bocas de riego, constituyen el punto final de la red colectiva, e inicial de la red privada en la parcela; en algunos casos se las instala enterradas y se abastecen directamente de la red de distribución; pueden ser individuales o colectivas según se instalen en una o varias parcelas respectivamente, deben ser colocadas dentro de una estructura de protección.

Estas estructuras son las encargadas de entregar el agua a los regantes que pertenecen a la red de riego por canales, pero, como la red de riego por canales es muy grande, a lo largo de su trayecto existen parcelas que hacen uso del sistema sin estar legalmente inscritas en la comunidad regante. Por lo que las tomas de riego suelen ser vulneradas a pesar de tener protecciones, por las personas que tienen sus territorios cerca, e incluso se puede presentar lugares en donde, por hacerse del agua del sistema, cometen daños a la infraestructura del sistema.

d.1.4.8. Elementos de control y regulación en los sistemas de canales.

Los elementos de control en los sistemas de canales de riego más automatizados, en dónde se hace uso de tuberías, se pueden contar con elementos como válvulas, ventosas, reguladores de presión, dispositivos anti-ariete, etc. En estos sistemas los controles de seguridad están destinados a medir la cantidad de agua que entra en un determinado canal, en base al cual, el usuario del sistema pagará por el servicio.

En los sistemas de riego por canales más generales, se realiza el control del sistema por medio de compuertas metálicas que se accionan al abrirlas, subiendo su nivel, permitiendo el paso de agua en el canal o cerrando, al bajar la compuerta. Existen diversos tipos de control de canales, los más sencillos constan de una regla graduada a intervalos pre establecidos, colocada en las paredes del canal y que es leída por el operador.

El operador es el encargado de posicionar la compuerta a la altura adecuada según su experiencia, para que el sistema cuente con las cantidades de agua que las parcelas requieren. En los sistemas más complejos, asociados con compuertas autor-regulables, los niveles de altura y presión del agua en los canales se registran y monitorean de forma continua, transmitiendo los

datos a la central de operaciones computarizadas, quienes determinan la apertura o cierre de las compuertas al tener un registro de la demanda actual de agua en el sistema.



Figura 7. Compuerta del Canal de Pinyana (Lleida, España) [8].

Haciendo uso de estos elementos de control, en los sistemas de canales de riego se pueden encontrar los siguientes métodos de control [7]:

d.1.4.8.1. Control manual local.

En este sistema, el control del canal lo realiza un operario o canalero. El control manual local es el método más utilizado, aquí, una persona es la encargada de realizar las maniobras de las compuertas del canal. En general, el procedimiento en los sistemas de canales con control manual es el siguiente, el canalero recibe la instrucción de los usuarios o de la persona encargada del sistema de riego, y el canalero realiza la apertura o cierre de las compuertas del canal principal para cumplir con la orden. Dependiendo del sistema, puede esperar a recibir la confirmación de que la demanda de agua fue cumplida o volver a modificar la apertura de la compuerta hasta cubrir con la demanda.

En los canalero con experiencia, ya conocen el tiempo de llegada del agua a las zonas de cultivo, así como la apertura o cierre necesario de la compuerta para satisfacer la demanda. Para sistemas de canales grandes, el canalero debe recorrer grandes distancias, por lo que se suele

ayudar de radios para la comunicación con los demás operarios del sistema. La persona que dirige el sistema se encuentra en el Centro de Control, en donde recibe los datos como nivel del agua, las posiciones de la compuerta, etc.; información necesaria para poder implementar el programa de riego y cumplir con las necesidades de la Comunidad Regante. Este tipo de operación es susceptible a fallas y a las decisiones subjetivas del personal, dependiendo de ellos, el correcto funcionamiento del sistema.

d.1.4.8.2. Control automático local.

Estos sistemas hacen uso, en gran medida, de equipos de control y de menos intervención de operarios en comparación al sistema anterior. El control automático local permite la operación de canales sin intervención de personal, logrando el control del sistema a través de un arreglo de componentes mecánicos, eléctricos y electrónicos situados en el lugar. El equipo monitoriza el nivel del agua en los canales y la posición de la compuerta. La información detectada es interpretada por los algoritmos de control. Los algoritmos de control están diseñados para calcular los ajustes necesarios para colocar las compuertas al nivel acuerdo para cubrir las necesidades reales del sistema. La intervención humana en el lugar requerido se reduce a monitorear periódicamente el funcionamiento del canal.

El equipo de control automático no requiere de ajustes manuales en el sitio, por parte de los canaleros, para lograr un funcionamiento adecuado del canal. Sin embargo, se requiere un sistema de alarma para notificar a la Estación Central de condiciones anormales, como la desconexión del equipo de control en las compuertas, los niveles altos o bajos de agua, cortes de energía locales y los fallos de los canales de comunicación. Por lo tanto, es necesario un canal de comunicación entre cada controlador de cada compuerta y la Estación Central, para proporcionar información en caso de alguna falla. El encargado del sistema monitorea la información de la alarma e inicia inmediatamente las medidas correctivas en la compuerta con fallas.

Para el desarrollo de este método, se debe mezclar el conocimiento técnico y la experiencia práctica en el diseño del sistema de control automático. Los algoritmos de control y parámetros de control son escogidos por el ingeniero encargado del sistema y los procedimientos dependen de la experiencia de los canaleros y el personal encargado del manejo del sistema. Por lo tanto,

se hace necesaria la combinación de la ingeniería de control y la experiencia de los operadores para el correcto desarrollo de este sistema.

d.1.4.8.3. Control supervisado.

Los sistemas supervisados cuentan con la participación de canaleros, que obedecen las disposiciones del encargado del sistema que se encuentra en la Estación Central. El equipo encargado del sistema recoge los datos del sistema de canales y realiza su análisis para poder determinar las acciones que deberán realizarse.

Las Estaciones Remotas o RTU, se encargan de comunicar a los eventos que se presenten en cada compuerta y en los sitios de interés del sistema, envían información como: niveles de agua, posiciones de la compuerta del canal, el estado del equipo, etc. Las Estaciones Remotas también controlan el sitio remoto, ajustan la posición de la compuerta dependiendo de las instrucciones realizadas por la Estación Central o dependiendo del algoritmo de control con el que cuentan. Por lo tanto, este sistema de control requiere un sistema de comunicación de dos vías entre cada RTU en los sitios remotos y la Estación Central. El control del sistema de canales es responsabilidad del operario que se encuentra en la Estación Central. Toda la información necesaria, tomada por los sensores o por el canalero del sistema, es enviada a la Estación Central, en donde se realiza el control del sistema.

d.1.4.8.4. Sistema de control combinado.

Estos sistemas cuentan con una combinación de los sistemas antes expuestos. Los sistemas manuales, automáticos y de supervisión no son mutuamente excluyentes. En muchos proyectos de agua, la operación implica el uso de una combinación de dos o tal vez los tres métodos.

Los méritos relativos de los tres tipos de control dependen de las circunstancias de uso. Por ejemplo, un sistema de canales de riego puede requerir un controlador automático local para mantener automáticamente una velocidad de suministro constante si el nivel de agua del canal principal cambia con frecuencia. El canalero no siempre estará disponible para visitar el sitio

con la frecuencia suficiente para hacer que la apertura de una compuerta compense la variación del nivel del agua y mantenga un nivel constante.

El sistema de control combinado puede mejorar si además se integra un sistema supervisado, en donde el encargado del sistema puede realizar cambios más oportunos, de acuerdo a la demanda del líquido por parte de la Comunidad Regante. Para cualquier eventualidad, el sistema de control también debe contar con la opción del manejo del sistema de forma manual, es decir, que un canalero que presente todos permisos de seguridad pueda comandar el sistema en caso de emergencia, por ejemplo, en caso de que la comunicación con la Estación Central se perdiera.

Cada método de control de sistema de canales tiene sus propias características y ventajas. La selección del método a usar en cada sistema de canales dependerá de sus características y necesidades particulares.

d.1.4.9. Sectores de riego.

El sector de riego puede ser constituido de una o varias parcelas, es la zona en la que se realiza la actividad agrícola. En algunos casos el caudal permanente de un sector de riego es recibido en un reservorio o cámara de carga que se encuentra en la parte más alta del sector, donde se produce la presión necesaria para regar al conjunto de parcelas de la comunidad regante que hace uso del sistema.

Las dimensiones del sector de riego suelen ser mayores a las estimadas, debido a que siempre existen propietarios de parcelas que no se encuentran inscritos legalmente en la comunidad regante pero que hacen uso del sistema de riego por canales. Como este sistema de riego tiene dimensiones muy extensas es muy difícil encontrar todos los lugares en donde se presenta este caso. Las dimensiones de la red de distribución deben cubrir una superficie muy grande que supera al canal principal. Los sectores de riego son la parte más voluminosa del total del sistema de riego por canales.

d.1.5. Eficiencia de los sistemas de canales de riego.

La eficiencia de los sistemas de riego es la relación entre el volumen de agua, efectivamente utilizado por la planta y el volumen ingresado en la bocatoma o en la parcela. En los sistemas de riego por canales se producen pérdidas de alrededor del 45% al 60% del agua. Por lo general, las pérdidas totales que se producen a lo largo del sistema se pueden clasificar de la siguiente forma: pérdidas en el proceso de distribución debido a la evaporación, representadas con alrededor de un 5%, fugas a lo largo del canal con un 30%, estructuras averiadas o rotas en un 30% y operaciones poco eficientes con un 35% [9].

La gran mayoría de sistemas de riego en el Ecuador tiene problemas de eficiencia originado básicamente por problemas de orden técnico y de capacidad de gestión de los usuarios, como resultado se tiene sistemas con eficiencias que van desde el 35% al 55% [1].

Las principales causas que no favorecen a una buena eficiencia en la conducción y distribución del agua son las condiciones topográficas con pendientes demasiado fuertes o inferiores al 1% (común en canales de tierra), la geología deslizante de los suelos, infraestructura de riego en estado precario, caudales demasiado fluctuantes y sin regulación, ausencia o insuficiencia de obras de captación y distribución, alto desperdicio en las horas nocturnas y en momentos de abundancia de agua y el uso de métodos inapropiados de riego.

La eficiencia en los sistemas de riego dentro de las parcelas mejora gracias a la inclusión de la tecnología. La utilización de métodos como el riego por aspersión o goteo, reducen los niveles de pérdida de agua. Dentro de las parcelas el porcentaje de eficiencia de la región sierra es del 60.55% y de la región costa del 61.96% [1].

d.1.5.1. Principales problemas de los sistemas de canales de riego.

Los principales problemas que afrontan los sistemas de riego son de carácter social, técnico y los problemas que traen la organización y distribución del agua.

En los problemas sociales se presenta, la falta de capacitación y actualización de conocimientos por parte de los agricultores, la mala organización y gestión de las juntas pertenecientes al sistema, provocando errores en la conducción y en los mecanismos de control de los canales. En

las regiones amazónica e insular no se encuentra de forma masiva la presencia de sistemas de riego, ya sea por falta de información o conocimientos.

En el aspecto técnico, los sistemas de riego en general, tienen un deficiente funcionamiento, ya sea por la falta de organización, la falta de técnicos especializados, falta de mantenimiento al sistema, sobreexplotación de las fuentes de agua, caudales bajos y limitaciones en el uso del agua.

Los problemas de organización en las juntas regantes se suelen empeorar con la reducción del recurso hídrico y el aumento de la demanda, lo que no permite que todos los miembros del sistemas puedan tener el agua en sus parcelas en los momentos que lo requieran.

En el Ecuador, el Plan Nacional de Riego y Drenaje, señala que la infraestructura de los canales de riego cuenta con algunos inconvenientes, en general, sólo el 9% de la estructura de los sistemas de riego están en estado “Muy Bueno” (es decir, funcionando al 100 y 75% de su capacidad), el 53% se encuentra en estado “Bueno”(funcionando al 75 y 50% de su capacidad); el 22%, en estado “Regular”(funcionando al 50 y 25% de su capacidad) y 6% en estado “Malo”(funcionando a menos del 25% de su capacidad). Los canales terciarios y principales, de los sistemas de riego por canales, son los que mayormente se encuentran en estado regular. Además, se ha detectado que un 36% de los sistemas, en promedio, requiere de obras complementarias o ampliación de la infraestructura [1].

En general los problemas más comunes que se presentan en los sistemas de riego son [2]:

- Escasa disponibilidad de agua.
- Acceso socialmente inequitativo.
- Concentración regional de las inversiones públicas en riego.
- Bajo nivel de tecnificación.
- Carencia de estrategias estatales para el desarrollo del riego.
- Limitaciones institucionales.
- Dificultades organizativas en la administración de los sistemas.

d.1.6. Comunidad regante.

La comunidad de regantes, es la asociación de los dueños de terrenos que hacen uso del sistema de canales. Debido a que un sistema de riego por canales cubre grandes distancias, la comunidad de regantes suele ser numerosa, he incluso, no siempre todas las personas que hacen uso del sistema, forman parte de la comunidad regante.

La forma de organizarse por parte de la comunidad regante, es de realizar el riego por turnos, en donde se establece la hora de riego, el caudal de riego y la duración del mismo. Para ello, se suele contar con un trabajador llamado “canalero”, que es el encargado del manejo de las compuertas que existen a lo largo de los canales del sistema.

Los operadores del sistema, mueven las compuertas según una serie de valores prefijados, según su experiencia o según las órdenes recibidas desde la gestora del canal. Se suele mover una vez en cada operación, por ejemplo, existen temporadas de gran demanda del recurso hídrico, en donde el operador debe realizar la apertura de las compuertas, para que el sistema pueda abastecer la demanda, ésta apertura la realizar una única vez al día.

La forma de operar el sistema, trae consigo algunos problemas, entre los principales se encuentran, la dificultad de dar el agua en el momento oportuno y con las cantidades necesarias del regante, se presentan mayores pérdidas del recurso hídrico al no contar con el manejo inmediato de las compuertas de control. Además, está sujeta fallos y retrasos por parte de la persona encargada del canal, debido a que debe cubrir grandes distancias para llegar a las compuertas, y no cuenta con valores de medición reales en ese instante.

d.2. CAPÍTULO II: AUTOMATIZACIÓN DE SISTEMAS DE CANALES DE RIEGO

d.2.1. Introducción.

Con la automatización de un sistema, lo que se busca es realizar una acción de manera automática, de acuerdo a los parámetros en los que se maneja el sistema. El objetivo de la automatización es mejorar la eficiencia de los procesos que se dan en el sistema, incrementar la velocidad con la que se realiza las tareas, mejorar la calidad y la precisión de los resultados, y además, disminuir los riesgos que se puedan presentar tanto para el personal como para los equipos que la conforman.

Para poder optimizar el uso del agua en los sistemas de riego, es necesario hacer uso de las herramientas que brinda la automatización. El controlar algunas de las variables que están presentes en los sistemas de riego, permite tener mayor control en la actividad agrícola.

Pueden existir distintos grados de automatización en un sistema de riego, dependiendo de las funciones asumidas. Un grado mínimo de automatización se lograría con la apertura y cierre de válvulas hidráulicas o compuertas motorizadas, utilizadas en la distribución del agua. Un grado máximo se lograría con el control total de la instalación, el control de la humedad del suelo, el monitoreo del estado hídrico de las plantas, los niveles de caudal en los canales, la demanda del recurso hídrico en el sistema, etc., incluyendo sistemas de adquisición de datos para una adecuada gestión del riego.

La automatización de sistemas de riego también se la puede observar en distintos niveles, por ejemplo, se puede observar sistemas de automatización individual del riego dentro de parcelas, en los que se tiene un conjunto de variables monitoreadas para determinar el momento óptimo de riego. Otro nivel, es la red general de riego por canales, que se encarga de llevar el agua a las distintas parcelas que componen una comunidad regante, este nivel es el escogido para la realización del presente trabajo de tesis. En este sistema de riego, se parte de un afluente de agua como puede ser una quebrada o río, y a través de conducciones principales alcanza a los sectores de riego, en este punto, se divide en redes secundarias y terciarias que se encargan de hacer llegar el agua a cada parcela.

Dependiendo del nivel de automatización que se presente en las redes de riego, se podrá controlar distintas variables, como pueden ser, los niveles de agua y de presión a lo largo de los canales, la cantidad de agua que se usa en cada parcela, el tiempo de regado necesario para cada zona de cultivo, entre otras actividades que permitirán mejorar el uso del agua.

Los sistemas de automatización de riego más avanzados realizan el control y la adquisición de datos, permitiendo llevar la información hacia y desde los elementos de operación. Además, pueden llegar a mostrar el estado de funcionamiento de la red de riego y de la propia red de comunicaciones. La unidad encargada de la supervisión y control en el sistema, se llama SCADA. Aquí se recibe las órdenes de la unidad de programación y gestión, se efectúa las operaciones de telecontrol y se devuelve la información del desarrollo o de los eventos que se hayan producido, como consumos de agua, averías en la red, etc., al personal encargado del control del sistema.

d.2.2. Automatización y canales de riego.

Se puede definir a la automatización, como, un procedimiento o método utilizado para regular un sistema por medio de equipos mecánico y, o electrónico, donde se transfieren las tareas de producción, normalmente realizadas por operadores humanos a un conjunto de elementos tecnológicos.

La automatización es producto de la observación, esfuerzo y decisión de las distintas actividades que se realiza en el sistema. Su objetivo es mejorar la productividad, reducir costos, tiempo de producción, mejorar las condiciones de trabajo del personal, mejorar la calidad del servicio prestado, entre otros.

En el caso de los canales de riego, el objetivo de este sistema es llevar el recurso hídrico desde una fuente, como puede ser un río, hasta el grupo de parcelas en donde se localiza la actividad agrícola. Por lo tanto, la automatización del canal se define como la implementación de un sistema de control que actualiza el método convencional de la operación del sistema de canales.

Se pueden encontrar distintos sistemas de automatización en los canales de riego, los menos complicados cuentan aún no la utilización de canaleros que realizan la mayor parte del trabajo, y

a medida que el sistema se vuelve más complejo, disminuye la participación de personal en las actividades de control del canal.

d.2.3. Elementos de un sistema de automatización.

Las partes fundamentales de las que se compone un sistema de automatización son los sensores que se encargan de la obtención de señales, los controladores lógicos programables que se encargan del procesamiento de dichas señales y los actuadores que se encargan de ejecutar las respuestas del sistema.

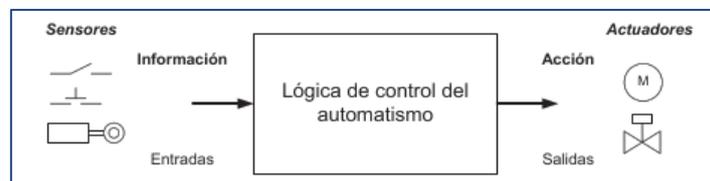


Figura 8. Componentes de un automatismo [10].

Existen otros sistemas de automatización más avanzados en los que se utiliza el telecontrol y la telemetría, haciendo uso de unidades como el SACADA, en donde se puede tener control de los procesos en el sistema, de manera instantánea, tomado las decisiones de manera más oportuna.

d.2.3.1. Controlador lógico programable, PLC.

Podemos definir a un PLC o Controlador Lógico Programable, como un equipo electrónico, programable por el usuario en lenguaje no informático, y que está destinado a gobernar, dentro de un entorno industrial, máquinas o procesos lógicos y/o secuenciales [10].

Para el manejo de las señales que se quieren controlar y monitorear en el sistema (niveles de tensión y corriente, presión y caudal de agua en los canales, etc.), el PLC cuenta con un hardware que le permite recibir estas señales y mediante un programa creado por el usuario,

realiza una función determinada. El PLC puede realizar funciones lógicas, secuenciales, de temporización, conteo y aritméticas para su funcionamiento.

La programación del PLC consiste en una secuencia de instrucciones que se ejecutarán de forma repetitiva para obtener una funcionalidad específica. La programación se realiza con ayuda de una computadora que cuenta con un software especializado, ésta se conectará al PLC por medio de un módulo de comunicación. Para el normal funcionamiento del PLC, no se necesita de una conexión con una computadora ya que el programa queda almacenado dentro de la memoria.

El PLC cuenta con un conjunto de entradas y salidas por donde recibe las señales de los dispositivos; en el caso de las entradas, recibe señales de elementos como, sensores e interruptores, y en el caso de las salidas, de motores y válvulas. Las entradas y salidas pueden venir incorporadas con el PLC, en otros casos cuenta con módulos de expansión. Por lo general, las entradas y salidas del PLC vienen rotuladas sobre borneras y cuentan con indicadores luminosos que muestran su estado de funcionamiento.



Figura 9. Controlador Lógico Programable Siemens S7-1200 [11].

La selección de un PLC se realiza teniendo en cuenta dos características principales, el número de señales de entrada y salida que es capaz de manejar, y la complejidad de operaciones que puede realizar.

d.2.3.1.1. Funcionamiento del controlador lógico programable.

Durante su funcionamiento, lo primero que realiza es leer los estados de las entradas provenientes de los sensores o transductores y los valores ingresados en su programación, estos

valores los agrega a una memoria llamada imagen de proceso en las entradas. Luego de esto ejecuta el programa de control y, de acuerdo a su lógica, se va modificando otra área de memoria conocida como imagen de proceso de las salidas. Este trabajo se realiza de forma cíclica.

A las entradas del PLC se acoplan elementos que emiten señales analógicas o digitales, estos elementos pueden ser, presostatos, sondas de nivel, transductores de presión, contadores, etc. En cambio a la salida se encuentran los actuadores, que pueden ser, relés para la puesta en marcha de bombas, accionamiento de solenoides, accionamiento de válvulas, modificación de la velocidad de giro de las bombas, etc.

d.2.3.1.2. Características de un controlador lógico programable.

Las principales características de un PLC son [12]:

- Su estructura es modular, lo que permite aplicaciones según aumenten las necesidades.
- Robustez ante ambientes peligrosos.
- Posibilidad de comunicación con otros PLC o con ordenadores convencionales.
- Elevada capacidad para implementar programas complejos de secuencia de automatización.
- Facilidad de la corrección y modificación de programas.

d.2.3.1.3. Señales de entra y salida.

El controlador lógico programable maneja señales digitales y señales analógicas tanto en las entradas como en las salidas.

Las entradas digitales son de tipo on/off, y permiten leer el estado de, por ejemplo, presostatos, contactores, pulsadores, conmutadores, sondas de nivel, y en general de todos los equipos en el que el interés es conocer su estado conectado (on) o desconectado (off).

Las entradas analógicas suelen ser de corriente (miliamperios mA) o de voltaje (voltios V), y permite conocer las señales emitidas para la medida de, por ejemplo, la presión, el caudal, el volumen, la presión diferencial, voltaje, intensidad, potencia, $\cos \varphi$, temperatura, y en general todos los equipos que pueden emitir una señal de tipo analógica.

Las salidas digitales se emplean para la realización de las maniobras de arranque y parada de bombas, apertura y cierre de electroválvulas y de válvulas motorizadas, así como para la activación de pilotos luminosos. En cambio, las salidas analógicas se emplean para actuar sobre la velocidad de giro de las bombas y sobre la posición de apertura de las válvulas motorizadas, entre otros [13].

d.2.3.2. Transductores, sensores y actuadores.

Para poder recoger las señales provenientes del sistema y realizar las acciones necesarias, el PLC hace uso de sensores y actuadores. Los sensores o transductores son dispositivos que transforman una cantidad física, como puede ser la distancia, presión, nivel del agua, etc., en otra señal, que por lo general, es una señal eléctrica de tensión o de corriente [10].

El término transductor, en forma más general, se refiere a un dispositivo que convierte una señal de un tipo a otro, a diferencia de un sensor o actuador, que realiza un acondicionamiento de la señal para ser usada en el sistema.

Los actuadores son los encargados de realizar los cambios en el proceso, de realizar un trabajo de acuerdo a las decisiones que tome el controlador lógico programable. Los seis tipos de señales más usuales en el control industrial son señales mecánicas, térmicas, magnéticas, eléctricas, ópticas y moleculares.

d.2.3.2.1. Sensores.

Los sensores proporcionan una señal de salida en respuesta a una condición física medida, en el caso de los sensores eléctricos, la salida es una cantidad eléctrica de tensión o corriente [14].

En algunos casos los sensores se encuentran divididos en dos etapas, en la primera se encuentra el elemento detector que responde directamente a la magnitud física que se está midiendo, y en una segunda etapa se encuentra el elemento transductor que origina la salida eléctrica equivalente. Una vez obtenida la señal eléctrica, ésta se acondiciona y amplifica para ser usada en el controlador lógico programable.

d.2.3.2.1.1. Clasificación de Sensores.

Según su funcionamiento los sensores se pueden clasificar en diversos tipos. De acuerdo a su aporte de energía se pueden dividir en activos y pasivos, donde los primeros se caracterizan por utilizar una fuente de energía auxiliar para alimentar la señal de salida y en los pasivos la energía de la señal de salida es suministrada por la entrada.

Otra clasificación se hace según el tipo de señal a ser censada, la cual puede ser analógica o digital. En los sensores analógicos la salida varía de manera continua, encontrándose la información en la amplitud y algunas veces en la frecuencia. Por lo general, cuenta con una etapa de acondicionamiento de la señal para obtener señales normalizadas de 0 a 10 V o de 4 a 20 mA. En cambio los sensores digitales proporcionan una salida discreta, la cual puede ser, el encendido y apagado de un dispositivo, o puede ser una señal codificada en forma de pulsos, como es el caso de los encoder proporcionales y absolutos usados en sistemas de control de movimiento [14].

Clasificándolos según la manera de funcionamiento se pueden clasificar en sensores de deflexión o de comparación. En los primeros como su nombre lo indica, trabajan con la deflexión de un material. Es decir la deformación de un material se emplea para medir una magnitud física, este tipo de funcionamiento se puede apreciar en un dinamómetro donde la fuerza aplicada deforma o contrae un resorte haciendo esto hasta que la fuerza de recuperación del mismo sea igual a la fuerza aplicada. En cambio en los sensores de funcionamiento por comparación, se busca que la deflexión del material, lo cual se logra con la aplicación de una fuerza opuesta a la aplicada por la fuerza a medir. Este funcionamiento se puede apreciar en las balanzas donde el operario coloca un cuerpo de igual masa al que se mide con el objetivo de encontrar un balance entre ambos pesos que permita mantener el equilibrio [14].

d.2.3.2.2. Actuadores.

Los actuadores son los que realizan las acciones en respuesta a la programación y señales recogidas por los sensores, normalmente convierten la energía eléctrica en movimiento mecánico.

Los actuadores se pueden clasificar de distintas forma, entre ellas, se pueden clasificar en discretos y continuos en dependencia de que la acción requerida sea la de obtener una posición determinada o permitir ajustar la misma en un amplio rango de valores. Los actuadores continuos tienden a ser dispositivos complejos mecánicamente y son más costosos, por lo que es más general encontrarse con actuadores discretos.

Los actuadores también se pueden clasificar por el movimiento mecánico que provocan, pueden ser actuadores lineales y actuadores rotatorios.

Desde el punto de vista de la energía que convierten en movimiento mecánico, se pueden clasificar en actuadores eléctricos, hidráulicos y neumáticos. En los actuadores hidráulicos se utiliza líquidos para su función y en los actuadores neumáticos se utiliza aire. Aunque existen varios tipos de actuadores disponibles, los más comunes son los solenoides, los cilindros (neumáticos o hidráulicos) y los motores eléctricos [15].

d.2.3.3. Sensores y actuadores en sistemas de canales de riego.

La función de los actuadores en los sistemas de riego es ejecutar una acción en función de las señales de mando de la unidad de control, ésta acción por lo general involucra una operación electromecánica, como el accionamiento de electroválvulas para el cierre o la apertura de tuberías, o el accionamiento de motores para el control de compuertas en un sistema de riego por canales.

Los actuadores más habituales en los sistemas de riego dentro de parcelas, son electroválvulas de bajo consumo, que actúan sobre las válvulas hidráulicas de agrupación, las de salida a parcela e incluso las de sector de riego. El principal inconveniente de estos sistemas es que se pueden atascar por las impurezas del agua de riego, hecho bastante habitual y que suele obligar a un mantenimiento frecuente y a la instalación de filtros especiales.

Los elementos de actuación más comunes en los sistemas de riego por canales, son los motores para el accionamiento de compuertas, que se pueden controlar remotamente o manualmente por la persona encargada del sistema. La apertura o cierre de las compuertas se determina de acuerdo a las necesidades de agua en las parcelas.

Como sensores y elementos de captación de señales tenemos los propios contadores, que a través de un emisor de pulsos permiten captar el volumen de agua medida. También es habitual y recomendable instalar en puntos singulares de la red hidráulica transductores de presión (para verificar el correcto funcionamiento de los bombeos, o de la presión en general del agua), detectores de paso de agua, y caudalímetros o contadores totalizadores (para detectar fugas o roturas de tubería).

Los sensores de nivel ultrasónicos son utilizados para poder controlar los niveles de agua a lo largo de los canales del sistema o para controlar la apertura de las compuertas. La altura del nivel se calcula por el tiempo que tardan los impulsos ultrasónicos en viajar desde el sensor hasta la superficie del medio y volver, teniendo la ventaja de no necesitar el contacto físico para su detección.

d.2.3.3.1. Sensores de nivel.

Los sensores de nivel de líquido, que miden la altura de un líquido en un recipiente, se pueden clasificar en discretos y continuos. Los sensores discretos detectan cuando el líquido llega a un determinado nivel, mientras que los sensores continuos transmiten una señal analógica de corriente o voltaje, en proporción al nivel del líquido que se mide.

Los sensores de nivel discretos son los más simples, pueden contar con un flotador y un interruptor, que acciona la señal de salida cuando el agua llega a un cierto nivel. Por lo general, este tipo de sensor se usa sistemas de bombeo no muy sofisticados, en donde se quiere controlar que el agua almacenada, se mantenga en un determinado nivel.

Los sensores de nivel continuo pueden encontrarse de distintas clases, por ejemplo, sensores continuos con flotantes que proporcionan una señal de acuerdo a la altura del líquido, o se puede controlar midiendo la presión en el fondo del contenedor de agua. Pero el sensor más utilizado y práctico en los sistemas de canales, es el sensor ultrasónico.

- **Sensores Ultrasónicos:** Los sensores de ultrasonidos detectores de proximidad trabajan libres de roces mecánicos y detectan objetos a distancias de hasta 9m. La función del sensor es emitir pulsos ultrasónicos, estos se reflejan en un objeto que en el caso de los canales es el agua. El sensor recibe el eco del pulso ultrasónico y según el tiempo que tardó en volver, se produce una señal eléctrica proporcional al nivel de proximidad del líquido con el sensor. Los sensores trabajan según el tiempo de transcurso del eco.

El sensor de proximidad ultrasónico puede dividirse en tres módulos principales, el transductor ultrasónico, la unidad de evaluación y la etapa de salida; un pulso corto dispara brevemente el transmisor ultrasónico en el rango inaudible a cualquier frecuencia, generalmente entre 30 y 300 kHz. Los filtros dentro del sensor de proximidad ultrasónico, comprueban si el sonido recibido es realmente el eco de las ondas sónicas emitidas, y se emite una señal de salida de acuerdo al tiempo que tardó [14].

Los sensores de proximidad ultrasónicos generalmente están disponibles en forma de sensores de reflexión directa, donde el emisor y el receptor se hallan en un mismo cuerpo.



Figura 10. Sensor ultrasónico Banner, modelo U-GAGE T30 [16].

d.2.3.3.2. Compuertas de canal.

Las compuertas del canal son estructuras metálicas en las que se puede regular su apertura para dar mayor o menor paso de agua a través del canal. Estas estructuras se pueden encontrar a lo largo del sistema de canales, pero sobretodo se encontrarán en la bocatoma y luego de cada reservorio en los canales principales, para poder controlar el nivel y presión del agua que llega a la red secundaria y terciaria de distribución del líquido.

Por lo general la manipulación de estas compuertas se la realiza de forma manual, con ayuda de una persona llamada “canalero”, que se encarga de recorrer el sistema de canales, hasta llegar a las compuertas y regular sus aperturas, de acuerdo a la experiencia y los registros que lleva, produciendo una baja eficiencia en el sistema.

En los sistemas de canales modernos, las compuertas son accionadas con ayuda de motores que pueden ser controlados de forma manual desde el lugar de riego o remotamente desde una oficina, permitiendo actuar de forma más rápida ante las necesidades del sistema. Para ellos se hace uso de sistemas de monitoreo y control a distancia, que con ayuda de sensores a lo largo de los sistemas de canales y de registros de las necesidades de la comunidad regante, se logra a tener un mejor desempeño en las prestaciones del servicio.



Figura 11. Compuerta de canal automatizado de la empresa RIEGOSALZ [8].

- **Compuertas Motorizadas:** En los sistemas de canales automatizados el accionamiento de las compuertas se lo realiza mediante motores eléctricos. Debido a que los lugares en donde se encuentran las compuertas son sitios alejados de los lugares poblados y por lo general, no se cuenta con el suministro eléctrico convencional, se vuelve necesaria la utilización de fuentes alternativas de energía, como lo son los paneles solares.

Por ello, los elementos utilizados en el control de las compuertas del canal, deben ser equipos eficientes, con un consumo de energía moderado y que permita ser alimentados con paneles solares. Por lo general, los motores utilizados en las compuertas son motores eléctricos de 12 DC [8].

d.2.4. Sistemas de automatización de canales de riego.

El nivel de automatización alcanzado hace referencia a la cantidad de funciones asumidas por el sistema. La elección del nivel de automatización debe hacerse siguiendo criterios técnico-económico, según las características de las exportaciones y las preferencias de los agricultores. El mínimo nivel de automatización sería la apertura y cierre de válvulas hidráulicas para distribuir el agua o realizar las posturas de riego. El máximo nivel sería el control total de la instalación, de la humedad del suelo, del estado hídrico de la planta, del clima, etc., incluyendo los sistemas de adquisición de datos para una adecuada gestión del riego y la fertilización. Estos niveles condicionan la cualificación profesional del personal que maneja el sistema y la dependencia de un servicio técnico que solucione los posibles problemas de la instalación.

d.2.4.1. Sistemas HMI

Las siglas HMI significan “Human Machine Interface”, es decir, son dispositivos o sistemas que permiten el interfaz entre la persona y la máquina. Al principio, estos sistemas consistían en paneles compuestos por indicadores y comandos, tales como luces pilotos, indicadores digitales y análogos, registradores, pulsadores, selectores y otros elementos que se interconectaban con la máquina o proceso. En la actualidad, los sistemas HMI son bastante poderosos y eficaces, permitiendo una conexión más sencilla y económica con el proceso o máquinas haciendo uso de los módulos de comunicación.

Se puede distinguir dos tipos de HMI [12]:

- **Terminal de Operador:** consistente en un dispositivo, generalmente construido para ser instalado en ambientes agresivos, donde pueden ser solamente de despliegues numéricos, o alfanuméricos o gráficos. Pueden ser además con pantalla sensible al tacto (touch screen)
- **PC + Software:** esto constituye otra alternativa en donde se hace uso de un computador al que se le carga un software apropiado para la aplicación, que permita tener el control de los procesos del sistema. Se puede utilizar cualquiera computador según lo exija el proyecto.

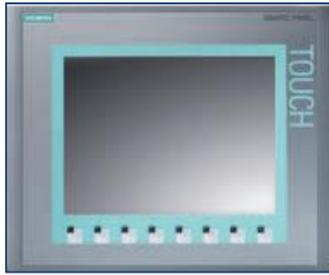


Figura 12. Panel HMI Simatic KTP600 Basic mono PN de Siemens [11].

El software instalado en el computador permite, entre otras cosas, funciones de interface gráfica de modo que se puede ver el proceso e interactuar con él, también se puede tener registros en tiempo real e histórico de datos, manejo de alarmas, etc., aunque éstas características ya se salen del funcionamiento principal de los HMI, pero suelen incluirse como características especiales del software. También es normal que dispongan de muchas más herramientas.

Al igual que en los terminales de operador, se requiere de una herramienta de diseño o desarrollo, la cual se usa para configurar la aplicación deseada, y luego se debe quedar ejecutándose en el computador el software del HMI. Por otro lado, este software puede comunicarse directamente con los dispositivos externos (proceso) o bien hacerlo a través de un software especializado en la comunicación.

La comunicación con los dispositivos de las máquinas o proceso se realiza mediante comunicación de datos empleando las puertas disponibles para ello, tanto en los dispositivos como lo son los autómatas programables y en los computadores.

d.2.5. Sistemas de automatización de canales de riego con telecontrol.

El concepto de telecontrol integra la tele-gestión y el control a distancia, entiéndase a la tele-gestión como el monitoreo de valores resultantes de varios procesos, y el control a distancia como la manipulación de elementos que no se encuentran en el mismo sitio, por ejemplo, el encendido y apagado de un equipo.

El telecontrol relaciona el control a distancia de los elementos de campo, con la información transmitida por los diferentes sensores. Como se puede ver, abarca el mayor grado de

automatización y es el que más funcionalidades puede llevar a cabo sobre las terminales o tomas de agua para parcelas en un sistema de riego.

Las aplicaciones que se puede tener en un sistema de riego son [13]:

- Lectura de Contadores.
- Apertura y cierre de válvulas mediante electroválvulas.
- Lectura de los sensores de caudal, nivel, presión, temperatura, detectores de flujo, etc.

La instalación de telecontrol de una red de riegos ha de responder, en cuanto a su topología, a las características de la red hidráulica que se va a monitorizar.

d.2.5.1. Características de un sistema de automatización con telecontrol.

La instalación de telecontrol de una red de riegos ha de responder, en cuanto a su topología, a las características de la red hidráulica que se va a monitorear. En grandes sistemas de riego, se parte de una o varias fuentes de agua (canal, estación de bombeo, balsa, etc.) y a través de conducciones principales alcanza los sectores de riego. Desde éstos, a través de la red secundaria, se lleva hasta los hidrantes de agrupación (sectores de riego con control común de presión y caudal). Desde ahí, la red terciaria conduce el agua hasta la entrega en parcela, y ahí termina la infraestructura común propia de la red de riego.

La automatización se lleva desde tres niveles de gestión de procesos [13]:

- **Primer Nivel:** aquí se encuentra el Centro de Control de la instalación, que es el encargado de recibir y almacenar los datos de la totalidad de la red hidráulica (valores de presión, lecturas de contador, caudal, etc.), y captar y mostrar los parámetros de funcionamiento del sistema (gestor de alarmas). Asociado al Centro de Control del sistema se encuentra el Sistema de Gestión propio de la Comunidad de Regantes, que gestiona la programación de riegos (a la demanda o por turnos) ejecutada por el Centro de Control. Este Sistema de Gestión también se encarga de, a partir de los datos obtenidos por el Centro de Control, realizar el tratamiento de los mismos hasta llegar a la facturación personalizada del volumen de agua consumida por cada regante.
- **Nivel Intermedio:** en este nivel están las Estaciones Concentradoras que, ubicadas en puntos estratégicos de la red de riego, captan las programaciones de riego enviadas

desde el Centro de Control, y de forma completamente autónoma se encargan de su ejecución, actuando como un programador de riego. Asimismo, captan los datos de la red hidráulica y de funcionamiento propio del sistema para su transmisión al Centro de Control.

- **Tercer Nivel:** en este nivel se encuentran las estaciones remotas (RTUs). Estas unidades, ubicadas junto a los hidrantes, ejecutan en tiempo real las órdenes recibidas desde las Estaciones Concentradoras, y envían a éstas todos los datos nuevos de eventos que se vayan produciendo (confirmación de ejecución de órdenes, nuevos pulsos de contador, variación en lecturas de presión, etc.).

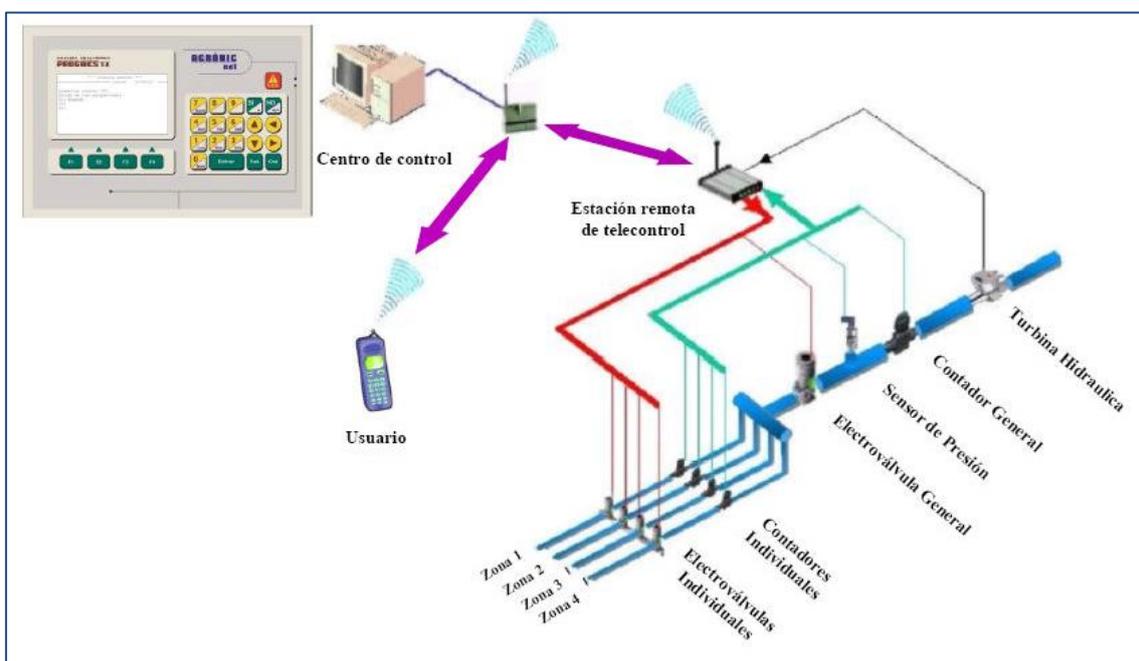


Figura 13. Esquema básico de un sistema de telecontrol para riego. [13]

La arquitectura así descrita le da robustez al sistema. Ante una avería en el Centro de Control, al ser autónomas las Estaciones Concentradoras, éstas seguirán con su funcionamiento normal. Se seguirían ejecutando las órdenes enviadas previamente desde el Centro de Control y se almacenarían en su memoria. A la vez se captarían los datos enviados por las estaciones remotas y se almacenarían hasta el restablecimiento de la comunicación con el nivel superior.

Asimismo las estaciones remotas pueden tener inteligencia propia suficiente para almacenar datos ante cualquier eventualidad en las comunicaciones, evitándose la pérdida de información fundamental para la Comunidad de Regante (volumen de agua registrada por el contador).

d.2.5.1.1. Características a exigir en un sistema de telecontrol.

Un sistema de control debe contar con las siguientes características [13]:

- **Robustez de los elementos que se van a instalar:** El medio en el que se va a instalar el sistema es hostil para los elementos que lo componen (dispositivos electrónicos, radios, cables de comunicación, etc.) existen variaciones muy importantes de temperaturas, tanto estacionales como diarias. Los elementos de control deben estar preparados para soportar niveles altos de temperatura, humedad relativa, e incluso para mojaduras directas debido al propio sistema de riego. El viento transporta mucho polvo y arenilla. Los animalitos pueden dañar los equipos.
- **Seguridad de los sistemas de comunicación y procesos de funcionamiento del sistema:** Las instalaciones de telecontrol de riegos abarcan amplias superficies, dependiendo de las mismas un número elevado de usuarios. Es necesario que los fallos de funcionamiento de los equipos que se puedan producir no afecten a la totalidad de la red de riego, sino que sean limitados e identificables, para reducir al máximo su impacto y el tiempo necesario para el restablecimiento de la zona afectada.
- **Antivandalismo:** Los equipos que se instalan en el campo no están normalmente vigilados, lo que facilita acciones vandálicas. Por esto se hace necesario dificultar al máximo estas actuaciones, protegiendo convenientemente y ocultando los equipos, e intentando dentro de lo posible disminuir el atractivo visual o económico de los mismos.
- **Autonomía:** El lugar donde se localizan los elementos de control y de actuación no suele tener corriente eléctrica cercana que permita alimentarlos, y dotarles de la misma a partir de las líneas eléctricas más cercanas haría inviable cualquier proyecto. Es preciso, por tanto, dotar al sistema de telecontrol de elementos con alimentación autónoma.
- **Mantenimiento sencillo y económico:** El propio operario de la comunidad de regantes encargado de manejo del sistema debe poder realizar tareas de mantenimiento más habituales que garanticen la estabilidad de las funcionalidades de los elementos del telecontrol, sin tener que depender de la empresa instaladora. Para ello, el manejo debe ser suficientemente sencillo y amigable, y los diferentes dispositivos que forman los elementos de campo de fácil chequeo y sustitución. Además, la empresa instaladora

debe comprometerse a impartir los cursos de formación y actualización necesarios para la capacitación profesional del encargado.

- **Escalabilidad:** Es habitual que se realicen cambios en el número de salidas a parcela, en la localización de hidrantes, etc., por lo que debe permitirse la ampliación o adaptación del telecontrol instalado a las modificaciones que se puedan realizar en la red hidráulica.
- **Uso de estándares comerciales:** Facilitan la sustitución por avería o fin de vida útil de elementos por otros iguales o de otras marcas existentes en el mercado y al alcance de la Comunidad de Regantes usuaria de la instalación. Impide la dependencia absoluta de un único fabricante.

d.2.5.2. Elementos del sistema de canales de riego automatizado.

Un sistema de riego debe contar con una organización jerárquica, que permita segmentar los procesos y mantener el control de todos los procesos. Se puede encontrar esta división en relación a la ubicación física de los elementos y a las funciones que cumplen en el sistema. Por ejemplo, los elementos del Centro de Control, son los encargados de monitorear, controlar y tomar decisiones del sistema de canal de riego. Para ello, los elementos que pertenecen al Centro de Control se encuentran agrupados en una oficina estratégica, en donde la comunidad regante se puede acercar a realizar los trámites que deseen, como solicitar una demanda mayor del sistema de riego para el sembrío.

Otro de los elementos de sistema son las Estaciones Concentradoras que por lo general se encuentra cerca o en las zonas de trabajo, ellas se encargan de receptor las indicaciones del Centro de Control y ponerlas en ejecución, en este lugar se encuentran los autómatas programables, y también desde este lugar se puede ejecutar la acciones de maniobra del sistema, por ejemplo, en casos de emergencia se puede accionar el cierre de las compuertas de forma manual desde este lugar.

Las Estaciones Remotas receptor las órdenes de las Estaciones Concentradoras y las ponen en ejecución, además, receptor la información de los sensores y la transmiten a las Estaciones Concentradoras. De esta forma se puede transportar la información proveniente de los sensores en el sistema de canal, y se puede receptor las decisiones de los autómatas programables o directamente de las personas encargadas del canal que se encuentran en el Centro de Control.

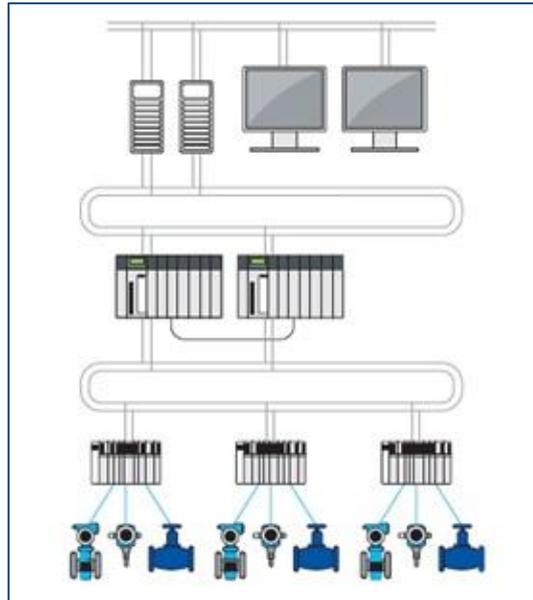


Figura 14. Esquema de la automatización de un sistema de riego [13].

d.2.5.2.1. Centro de control.

Está formado por un servidor con un software SCADA, encargado de gestionar los procesos descritos anteriormente y de supervisar, a través de un monitor, el desarrollo de los mismos. Normalmente dispone de más de un disco duro como medida de seguridad ante rotura del principal. Además suele ir acompañado de un sistema de Alimentación Ininterrumpida para soportar cortes de luz.

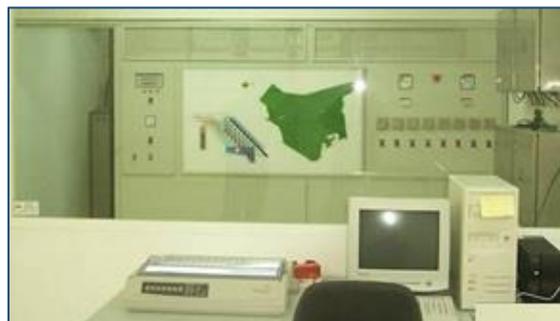


Figura 15. Centro de Control [13].

El sistema SCADA escogido debe ser abierto, capaz de crecer y de sufrir modificaciones según las necesidades del cliente, amigable y de uso sencillo. Además, debe permitir la comunicación con otros computadores a través de redes locales para la gestión de la Comunidad de Regantes. A través de un Frontal de Comunicaciones se establece la comunicación con las Estaciones Concentradoras. Son varios los medios físicos de comunicación que puede emplear, por ejemplo, por medio de cable Ethernet, radio, fibra, telefonía móvil, etc. [13].

d.2.5.2.2. Estaciones concentradoras.

Como se señaló anteriormente, realizan la gestión total de las órdenes de apertura y cierre de válvulas y compuertas enviadas por el centro de control, y la adquisición y almacenamiento de datos de la red de riego y de la red de telecontrol, para su posterior transmisión al Centro de Control. Para ello contiene una tarjeta microcontroladora, o PLC, que las dota de la suficiente memoria y poder de decisión. Disponen, en el caso de la comunicación se realice por radio de un sistema propio de alimentación, normalmente por paneles solares de baja potencia, que las dota de autonomía.

d.2.5.2.3. Estaciones remotas (RTU).

Las RTUs son elementos de extrema importancia, al ser los que realizan la captación de los pulsos del contador de riego, que utilizará la Comunidad de Regantes para la facturación de cada usuario del agua realmente consumida, y las encargadas de dar la orden de apertura y cierre de la electroválvula, así como receptan la órdenes para el accionamiento de las compuertas.

Las estaciones remotas tienen un dispositivo electrónico para la captación de datos del hidrante en que se encuentra localizados. Este dispositivo, debe ser además capaz de realizar las operaciones de disparo de electroválvulas para el accionamiento de las válvulas hidráulicas (apertura y cierre del hidrante) y el accionamiento de motores en casos de compuertas para los sistemas de canales.

d.2.5.2.4. Actuadores y sensores.

Los sensores más usados en canales de riego automatizados son los sensores ultrasónicos que ayudan a controlar y monitorear los niveles de agua en los canales. Estos sensores se comunican con las estaciones concentradoras en donde se encuentran los autómatas programables que se encargan de manipular los datos obtenidos y realizar la comunicación con el centro de control. En algunos casos, las estaciones concentradoras deberán tomar las decisiones dentro del sistema, basadas en los datos adquiridos por los sensores o por mando manual desde el sitio en el que se encuentra la compuerta.

Para los actuadores en los sistemas de canales, las compuertas automatizadas son las principales, pero se debe tener en cuenta que necesitan una alimentación eléctrica especial, ya que el accionamiento de los motores de las compuertas necesita un importante consumo de energía eléctrica. Para ello se hace uso de paneles solares y baterías. De igual forma se recomienda incorporar compuertas nuevas o con el mantenimiento debido para que el motor pueda realizar su trabajo de forma eficiente.

d.2.6. Sistemas de supervisión, control y adquisición de datos, SCADA.

Los sistemas Control y Adquisición de Datos (SCADA), tienen como función el monitorizar y controlar en emplazamientos remotos, permitiendo que un operario pueda manipular las condiciones del sistema desde un solo punto. Los sistemas SCADA empleados en sistemas de riego, llevan información hacia y desde los elementos de operación hidráulica, mostrando el estado de funcionamiento de la red de riego y de la propia red de comunicaciones. Recibe las órdenes de la unidad de programación y gestión, efectúa las operaciones de telecontrol encargadas y devuelve la información del normal desenvolvimiento del riego o de los eventos que se hayan producido como averías en el sistema, o el nivel actual en los canales de riego, y estos datos serán transmitidos al operario encargado [13].

En los sistemas de canales de riego se trata de controlar los niveles de altura del agua en los canales de riego, para que el sistema pueda cumplir con la demanda de los regantes de una forma rápida y con la cantidad necesaria. Para ello, se controla, manipula y supervisa las compuertas de los canales principales. Los sistemas SCADA permiten que la comunidad

regante pueda planificar la distribución del líquido para que todos los miembros tengan las cantidades de agua que necesitan en sus sembríos.

d.2.6.1. Prestaciones de un sistema SCADA.

Los sistemas SCADA comprenden toda una serie de funciones y utilidades encaminadas a establecer una comunicación lo más clara posible entre el operador y los procesos que controla, supervisa y monitorea. Entre las prestaciones que presenta, se destacan [17]:

- **Monitorización:** Se debe contar con la representación de los datos en tiempo real. Se debe leer los datos de los autómatas, de los sensores y demás elementos que conformen el sistema. Los datos como temperatura, velocidades, accionamiento de fines de carrera, etc., y sin importar el tamaño del sistema, desde una máquina simple a una instalación hidroeléctrica o un sistema de riego, deben tener su representación gráfica para hacer más amigable su monitoreo.
- **Supervisión:** Se debe contar con la supervisión, mando y adquisición de datos de un proceso, además de las herramientas de gestión para la toma de decisiones, por ejemplo, el mantenimiento predictivo. Los sistemas SCADA tienen la capacidad de ejecutar programas que puedan supervisar y modificar el control establecido y, bajo ciertas condiciones, anular o modificar tareas asociadas a los autómatas. Con estos sistemas se puede evitar una continua supervisión humana.
- **Adquisición de datos de los procesos en observación:** Los sistemas de adquisición de datos son una gran ayuda para mantener el correcto funcionamiento todos los procesos que se presenten. Se suele hacer uso de representaciones gráficas de tendencias e históricos con los datos almacenados.
- **Visualización de los estados de las señales del sistema:** Cuando se identifica una situación de alerta, estos equipos realizan la actuación automática, inmediata y confiable (previamente programada) y advienen por medio de un sistema de comunicaciones hacia el Centro de Control o al usuario encargado del funcionamiento del sistema para darle solución al problema. Desde este mismo centro se puede obtener, en tiempo real, cualquier información relativa a las estaciones remotas.

Los avisos de alarmas y acontecimientos se pueden presentar como eventos en las pantallas que muestran el sistema y el lugar del fallo, además se puede hacer uso de indicadores sonoros en caso de ser necesarios.

- **Mando:** Se debe tener la posibilidad de que los operadores puedan cambiar consignas y otros datos claves del proceso directamente desde el ordenador, acciones de mando como: marcha, paro, modificar parámetros, etc.
- **Grabación de acciones:** Los procesos deben quedar programados para evitar al mínimo la intervención de personal. Con la programación y las pruebas realizadas, el trabajo del operario puede quedar enmarcado en únicamente accionar el inicio del sistema, y supervisar los procesos en tramos cortos de tiempo.
- **Garantizar la seguridad de los datos y de acceso:** Tanto el envío como la recepción de datos deben de estar suficientemente protegidos de influencias no deseadas, intencionadas o no, por ejemplo, se pueden producir fallos en la programación, por la intervención de intrusos o por situaciones inesperadas. Además, se debe de restringir las zonas de programación comprendidas a los usuarios no autorizados, registrando todos los accesos y acciones llevadas a cabo por cualquier operador.

d.2.6.2. Ventajas.

La principal función de un sistema SCADA es el de servir de interfaz entre los procesos que se realizan en un sistema y el operario encargado del mismo. Los sistemas SCADA presentan de forma gráfica el estado de nuestra planta, además permite regular y controlar sus procesos, permite monitorear y obtener datos reales en tiempo justo, dándonos un gran control sobre el sistema.

Las ventajas más evidentes de los sistemas de control automatizado y supervisado son [17]:

- Los sistemas SCADA actuales son cada vez fáciles de utilizar, permitiendo que el operario encargado de su programación tenga más facilidades a la hora de manipularlo, hacerle un ajuste o programarlo.
- Los autómatas programables con sus características de robustez para trabajar en ambiente hostiles, permiten una conexión con una gran cantidad de sistemas SCADA, dependiendo de su modelo, lo que le asegura controlar distintos elementos con los que trabaja el autómata, como lo son los sensores y actuadores.

- Las estaciones remotas, RTUs, pueden ser programadas para que trabajen de forma automática en caso de perder la comunicación con estación maestra. Las RTUs pueden ser controladas y monitoreadas desde el centro de control.
- El desarrollo de todo el sistema se puede documentar, guardando los historiales de cada proceso y si se presentase algún defecto, se podría hacer uso de los historiales para poder encontrar el error. Además, se puede utilizar los datos recogidos para poder optimizar de mejor forma el sistema y tener un registro organizado de los eventos ocurridos.
- Los programas de visualización de alarmas, eventos o mensajes de posible peligro o error, permiten que el usuario detecte fácilmente y de manera oportuna los problemas que se pueden presentar y el lugar en donde se produce.
- Los sistemas SCADA pueden implementar distintos sistemas de comunicación, pueden hacer uso de la tecnología celular (GSM, GPRS, UMTS), de la tecnología Web, entre otros, para mantener informados a los operarios de cualquier incidencia permitiéndoles actuar de manera oportuna. La integración de sistemas es rápida gracias a los sistemas de comunicación estandarizados.
- Los protocolos de seguridad permiten una gestión segura y eficiente de los datos, limitando el acceso a personas no autorizadas. Los controles de seguridad se pueden realizar mediante claves de identificación en la estación central.

d.2.6.3. Arquitectura de un sistema SCADA.

El sistema SCADA posee componentes que aportan en funciones específicas tales como: recopilación de datos, control del sistema, monitoreo y visualización del proceso, etc. Estos componentes se pueden agrupar en los siguientes bloques principales del sistema [17]:

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

En la siguiente imagen se puede observar la interacción entre el usuario y el sistema. El usuario es el encargado del normal funcionamiento, tomando decisiones y monitoreando los procesos. El sistema de procesos se encarga de dar las órdenes que le envía el usuario, para que los

actuadores realicen su función, y transmitir la información de los sensores que le dan una idea del estado del sistema. El sistema en sí es en donde se realizan todos los procesos, los sensores y actuadores ayudan al manejo del sistema.

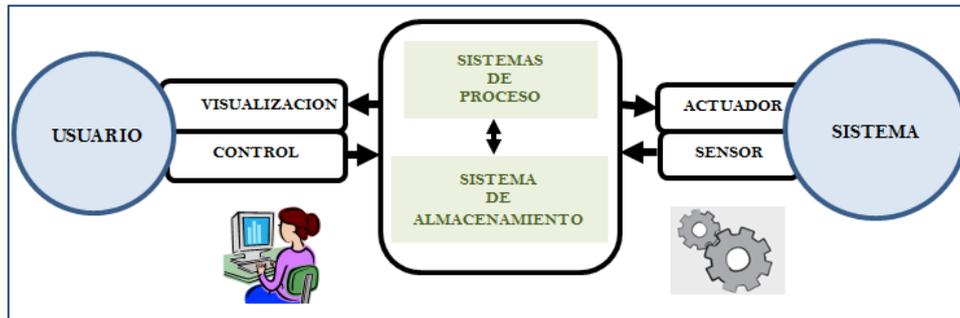


Figura 16. Interacción del Usuario y el Sistema. [Autoría propia]

El usuario, mediante herramientas de visualización y control, tiene acceso al sistema de control de proceso, que se encuentra en el centro de control comandado por el encargado del sistema. Generalmente, la visualización del sistema se lo realiza con ordenadores donde reside la aplicación de control y supervisión (se trata de un sistema servidor). La comunicación entre estos dos sistemas se suele realizar a través de redes comunicaciones corporativas (Ethernet).

El sistema de proceso que se encarga de las actividades que se realizan en el sistema, capta las señales que le envían los sensores e informa sobre su estado al usuario de forma gráfica. El usuario puede realizar correcciones o acciones de confirmación si se diera el caso, para que el sistema de procesos inicie los trabajos pertinentes para mantener el control del sistema, enviando órdenes a los actuadores.

La transmisión de datos entre el sistema de proceso y los elementos de campo (sensores y actuadores) se lleva a cabo de distintas formas como puede ser Ethernet, fibra óptica, de manera inalámbrica, etc. Toda la información generada durante la ejecución de los trabajos de supervisión y control se almacena para tener un registro de ellos.

Un sistema SCADA es una aplicación de software especialmente diseñada para funcionar sobre ordenadores en el control de producción que proporciona comunicación entre los dispositivos de campo, RTU [17]. Para poder tener control sobre los procesos que se realizan en el sistema, se hace uso de diversos elementos como los sensores, actuadores, autómatas programables, módulos de comunicación, etc., y para ello el sistema cuenta con una o más pantallas de

ordenadores, en donde, de manera gráfica se puede realizar el control de los procesos y manipulación de los mismos.

La estructura funcional de un sistema de visualización y adquisición de datos obedece generalmente a la estructura Maestro-Eslavo, en donde el centro de control hace las funciones de maestro y gobierna las acciones de los esclavos que son los actuadores en el sistema. Para realizar este control se ayuda de los elementos que monitorean el sistema como son los sensores.

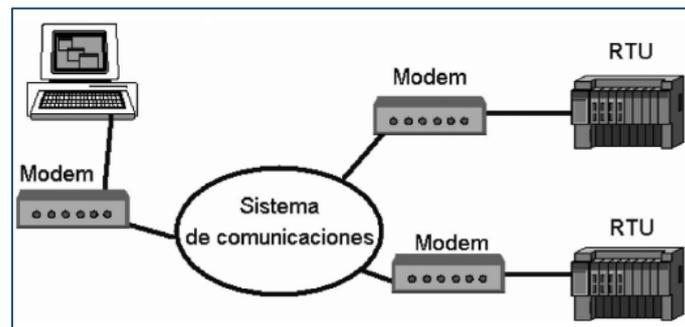


Figura 17. Representación básica de un sistema SCADA [17].

Los sistemas SCADA se pueden dividir en 2 grandes grupos, el hardware que son los elementos físicos de los que se compone el sistema y software que ayuda a poner en correcto funcionamiento a los componentes.

d.2.6.3.1. Hardware.

La estructura de hardware necesaria para que un sistema SCADA pueda recopilar datos de los procesos realizados y este a su vez envíe la información a través de un sistema de comunicación al centro de control, en donde podrá ser visualizado, se puede dividir en los siguientes grupos [17]:

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

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

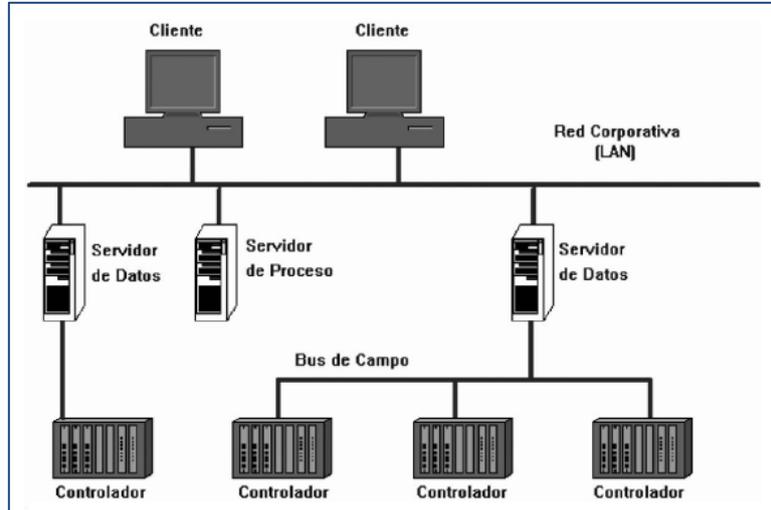


Figura 18. SCADA, arquitectura básica de hardware. [17]

Mediante los clientes los datos residentes en los servidores pueden evaluarse, permitiendo realizar las acciones oportunas para mantener las condiciones nominales del sistema. Mediante los denominados buses de campo, los controladores de procesos, (generalmente autómatas programables o sistemas de regulación) envían la información a los servidores de datos, los cuales, a su vez, intercambian la información con niveles superiores del sistema automatizado a través de redes de comunicaciones de Área Local.

Estos sistemas están formados por las interfaces Hombre-Máquina (HMI), por las Unidades Centrales, las Unidades Remotas (RTUs), y los Sistemas de Comunicaciones [17].

d.2.6.3.1.1. Interfaz Hombre-Máquina, HMI.

Las Interfaces Hombre-Máquina son sistemas que representan, de forma simplificada, el sistema bajo control. Las HMI son pantallas de visualización que dependiendo de sus funciones y programación, permite ejecutar acciones de control, paros de emergencia, monitoreo de procesos, adquisición de datos, entrada de valores, etc., en los sistemas más complejos suelen

aparecer terminales múltiples, que permiten la visualización de forma simultánea de varios sectores del sistema.

d.2.6.3.1.2. Unidades Centrales.

Las unidades centrales se encuentran en el Centro de Control, en este lugar se realiza el mando de los procesos que se realicen, estas unidades permiten controlar el sistema. En las unidades centrales se hace uso de protocolos abiertos, lo cual permite la interoperabilidad de multiplataformas y multisistemas. Un sistema de este tipo debe estar basado en estándares asequibles. La mayoría de sistemas necesitan que sea posible el intercambio de información en tiempo real entre centros de control y subestaciones situadas en cualquier lugar.

En el Centro de Control se realiza, principalmente, la tarea de recopilación y archivado de datos. Toda esta información queda almacenada para que pueda ser revisada cuando se requiera, permitiendo encontrar y prevenir fallas. En general, con ayuda de las unidades centrales se puede realizar las siguientes tareas: la gestión de comunicaciones, el envío y análisis de información, la recopilación de datos de todas las estaciones remotas, RTUs, la visualización de datos y eventos como alarmas, la comunicación con los operadores encargados, entre otros.

d.2.6.3.1.3. Unidades Remotas, RTU.

Las unidades o estaciones remotas son el conjunto de elementos dedicados a labores de control y/o supervisión de un sistema, alejados del Centro de Control y comunicados con éste mediante algún canal de comunicación. Las RTUs son elementos de campo, son los sensores, actuadores, autómatas programables, etc., que se encuentran en el lugar donde se dan los procesos del sistema. Estos elementos se pueden clasificar como [17]:

- **RTU:** Se entiende a estas estaciones remotas como las encargadas de recopilar datos de los elementos de campo y transmitirlos hacia el Centro de Control, y recibe las órdenes de los Centros de Control, a los elementos actuadores. Son elementos especiales que se encargan de las tareas de comunicación.

- **PLC:** Los controladores lógicos programables o PLC, empezaron como sistemas de dedicación exclusiva al control de instalaciones, máquinas o procesos. Con el tiempo han ido evolucionando, incorporando cada vez más prestaciones en forma de módulos de ampliación, entre ellos los Procesadores de Comunicaciones, que ha hecho desvanecerse la línea divisoria entre RTU y PLC, quedando incluidas todas las prestaciones en el PLC. El controlador lógico programable cuenta con distintos módulos de expansión que le permiten incorporar más cualidades, como sistemas de comunicación con otros controladores o con el Centro de Control.
- **IED:** Son los denominados periféricos inteligentes. Se trata de elementos con propiedades de decisión propias (programas) que se ocupan de tareas de control, regulación y comunicación. Dentro de esta clasificación se pueden encontrar elementos tales como PLC, Reguladores, Variadores de Frecuencia, Registradores, Procesadores de comunicaciones, Generadores de tiempo y frecuencia, Controladores de energía reactiva, Transductores, etc.
- **Sistemas Remotos:** Hoy en día una estación remota no es necesariamente un autómatas con capacidades de comunicación controlando una compuerta de un embalse. Puede tratarse de un gran sistema complejo que forma parte, a su vez, de un sistema de control mucho más extenso, como el control de distribución eléctrica de un país, donde las estaciones remotas pueden tener a su cargo una ciudad entera o controlar la distribución regional. Como podemos ver, esto tiene referencia al tamaño y complejidad del sistema, permitiendo dividir en pequeños subsistemas para tener un mejor control del sistema en su totalidad.

Las estaciones remotas tienen implementadas funciones de control, interface hombre-máquina, adquisición de datos, control de bases de datos, protocolos de seguridad y comunicaciones internas entre subsistemas.

d.2.6.3.1.4. Sistemas de Comunicación.

En los sistemas SCADA se hace indispensable el intercambio de información entre servidores, operarios y actuadores o la maquinaria que realiza el trabajo. Para que el sistema se ejecute de buena forma, los servidores de datos deben recibir constantemente la información recopilada por los sensores, autómatas programables, reguladores de procesos, etc. Gracias a que la mayoría de fabricantes son compatibles con los estándares de comunicación existentes, como lo

son los buses de campo, es posible establecer cualquier tipo de comunicación entre un servidor de datos y cualquier elemento de campo. Un servidor de datos puede gestionar varios protocolos de forma simultánea, estando limitado por su capacidad física de soportar las interfaces de hardware, este es el trabajo realizado por las tarjetas de comunicación.

El intercambio de datos bidireccional entre el Centro de Control y las Unidades Remotas, RTUs, se logra mediante el uso de un protocolo de comunicación determinado y un sistema de transporte de la información, que mantiene el enlace entre los diferentes elementos de la red. El medio por los que se realiza la comunicación del sistema depende de muchos factores como costo, distancia, perturbaciones, etc., pero los medios más comunes son por línea telefónica, dedicada o no, por cable coaxial, fibra óptica, telefonía celular (GSM, UMTS, GPRS) y por Radio (enlaces de radio VHF, UHF, Microondas) [17].

d.2.6.3.1.5. Topologías.

La Topologías del sistema es la forma en la que están organizados y conectados los elementos encargados de la comunicación. La topología de un sistema SCADA varía de acuerdo a las características de cada aplicación. Unos sistemas funcionarán bien en configuraciones de bus, otros en configuraciones de anillo. Unos necesitarán equipos redundantes debido a las características del proceso, etc. Incluso algunos sistemas contarán con distintos sitios de control en donde se pueda modificar los procesos que se realicen. Los requerimientos del sistema determinan la configuración y los elementos que componen el sistema SCADA.

Las topologías más comunes que el sistema puede tener son [17]:



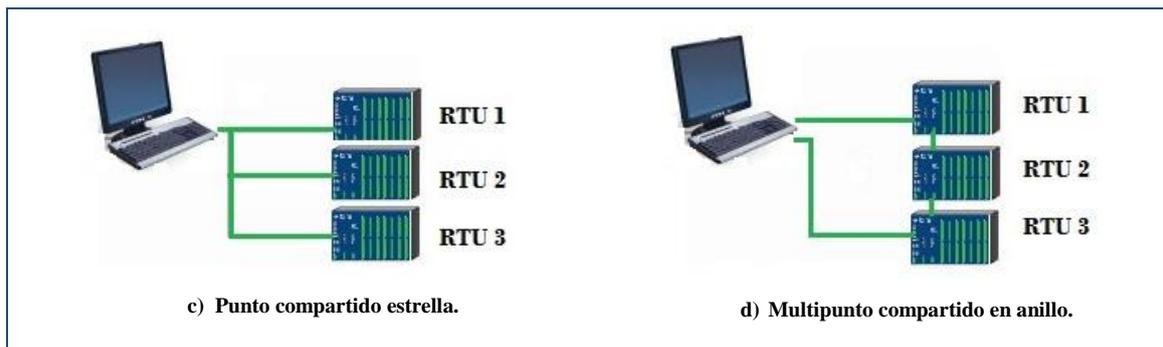


Figura 19. Topologías en los sistemas SCADA. [Autoría propia]

- **Punto a punto:** Esta relación es del tipo Maestro-Esclavo. Un solo elemento remoto, RTU, está conectado al sistema de control mediante una línea de comunicación.
- **Multipunto dedicado:** Es una variante de la topología punto a punto. Aquí un solo sistema de control se conecta a varias estaciones remotas mediante enlaces directos permanentes. Esta configuración es delicada, pues todo el tráfico de la red se centra en un solo punto, la Unidad Central, que debe poder gestionar todo el tráfico generado por el resto de elementos.
- **Multipunto compartido estrella:** Tipo Maestro-Esclavo. Esta configuración en estrella utiliza un solo puerto de comunicación, realizándose el intercambio de datos por turnos. Esto es posible debido a que las estaciones remotas tienen identificadores únicos.
- **Multipunto compartido en bus:** Es similar al compartido en estrella, pero con estructura Maestro-Esclavo, Multimaestro o Cliente-Servidor. Una o varias unidades centrales están conectadas a una o varias estaciones remotas mediante un medio común, un bus de datos. El acceso es también por orden y está gestionado por el sistema Maestro.
- **Multipunto compartido en anillo:** es la estructura robusta al proporcionar dos caminos para la información. En caso de fallo de un nodo, el tráfico no se interrumpe y toma el camino en otra dirección hasta llegar al sistema Maestro.

d.2.6.4. Software.

Las pantallas HMI hacen uso de *drivers* o controladores de comunicación para poder comunicarse con los demás dispositivos de control, que pueden ser PLC, y elementos de

gestión, que puede ser el ordenador que se encuentre en el Centro de Control. La mayoría de sistemas SCADA contienen todos los controladores de comunicación necesarios para conectar nuestra aplicación y el exterior, dependiendo de marcas y costos del sistema. Los controladores se ocupan de gestionar los enlaces de comunicación, el tratamiento de la información a transferir y protocolos de comunicación como Profibus, AS-i, Can, Ethernet, etc. En otras ocasiones los controladores son adquiridos a parte del paquete principal, dependiendo de la aplicación que se necesite.

El *driver* realiza la función de traducción entre el lenguaje del programa SCADA y el autómata programable (por ejemplo, Profibus), o entre SCADA y la red de gestión de la empresa (por ejemplo Ethernet.). Generalmente la configuración del controlador de comunicaciones se realiza durante la instalación del software principal o como programa de acceso externo al ejecutar la aplicación principal.

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

En un programa SCADA tendremos dos bloques bien diferenciados: el programa de desarrollo y el programa de ejecución o Run-time. El programa de desarrollo engloba las utilidades relacionadas con la creación y edición de las diferentes ventajas de la aplicación, así como sus características (textos, dibujos, colores, propiedades de los objetos, programas, etc.). Mientras que el programa Run-time permite ejecutar la aplicación creada con el programa de desarrollo, este es el producto acabado que será manipulado por el operario encargado del sistema.

d.2.6.4.1.1. Comunicación entre Aplicaciones.

En un sistema de automatización hay múltiples elementos de control y monitorización, cada uno con su protocolo de comunicaciones específicos (*modbus*, AS-i, Ethernet, RS232, etc.) y con un sistema operativo propio tal como DOS, UNIX, Linux o Windows, con sus propias características. Cada conexión significa un programa exclusivo dedicado al diálogo entre el

elemento de control, que puede ser un PLC, y el elemento de monitorización, que es el ordenador en donde se va a visualizar el sistema.

Cada fabricante proporciona este programa controlador de comunicaciones o *driver* que comunica su producto con un equipo determinado. El acceso a los datos se hace de forma oscura, sin acceso por parte del usuario. La interfaz se encarga de convertir los datos del equipo en datos útiles para el Centro de Control. Los métodos de intercambio de información entre aplicaciones informáticas más conocidos son [17]:

a) **OPC**

OPC (*OLE for Process Control*), es el estándar más popular de intercambio de datos para los sistemas SCADA. Es un estándar abierto que permite un método fiable para acceder a los datos, nació con la idea de suprimir el problema de comunicación creando un estándar orientado al modo de intercambio de datos, independientemente de la tecnología utilizada para hacerlo. El método de acceso siempre es el mismo, sin depender del tipo y origen de los datos. De esta manera los usuarios finales son libres de escoger el software y hardware que satisfaga sus requerimientos de producción sin preocuparse por la disponibilidad de software de control específico.

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

Los componentes de OPC se pueden clasificar en clientes o servidores [17]:

- **Ciente OPC:** Es una aplicación que sólo utiliza datos, tal como hace un paquete SCADA. Cualquier cliente OPC se puede comunicar con cualquier servidor OPC sin importar el tipo de elementos que recoge esos datos (el aspecto que veremos, desde el punto de vista de los datos, será siempre similar, sin importar el fabricante del equipo).
- **Servidor OPC:** Es una aplicación que realiza la recopilación de datos de los diversos elementos de campo de un sistema automatizado y permite el acceso libre a estos elementos desde otras aplicaciones que los soliciten (clientes OPC).

OPC permite definir una interfaz estándar que, mediante el desarrollo de aplicaciones del tipo Cliente-Servidor, hace posible la comunicación entre elementos que cumplan el estándar.

También, permite arquitecturas de varios clientes y servidores, accediendo a los datos de forma local o remota y gestionando la información en tiempo real.

Los servidores OPC tienen una fácil integración en aplicaciones Visual Basic, Excele, Access, etc., no necesitan herramientas especiales para su desarrollo, pueden escribirse con cualquier software estándar.

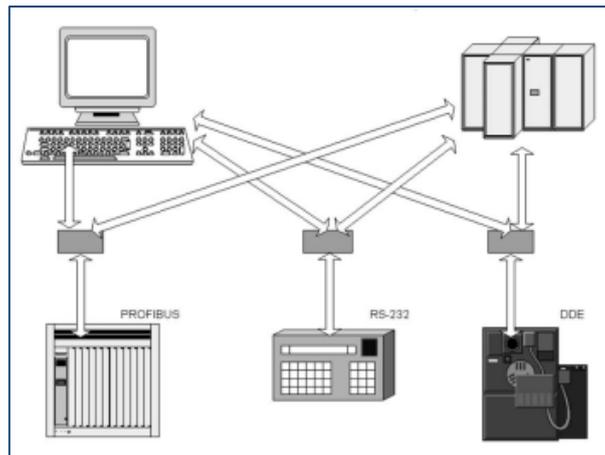


Figura 20. Comunicaciones OPC [17].

Por lo tanto, en un sistema de automatización tenemos varios sistemas de adquisición que deben poder comunicar con un PLC u ordenador, para ello el OPC convierte todas las comunicaciones de los distintos elementos y lo traduce a un lenguaje en común para los demás equipos.

b) ODBC

Mediante ODBC (*Open Data Base Connectivity*), que pertenece a Microsoft Windows, tenemos un estándar que permite a las aplicaciones el acceso a datos en Sistemas de Gestión de Base de Datos, utilizando a SQL como método estándar de acceso. ODBC permite que una aplicación pueda acceder a varias bases de datos mediante la inclusión del controlador correspondiente en la aplicación que debe acceder a los datos. La interface ODBC define:

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

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

c) SQL

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

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

- **Procedimientos:** Son bibliotecas de comandos almacenados en la base de datos. Permiten reducir el tráfico de red y simplificar los procedimientos de acceso a los usuarios de las bases de datos.
- **Eventos:** Son comandos que se activan de forma automática bajo unas ciertas condiciones, facilitando el mantenimiento de la integridad de los datos.
- **Replicación:** Permite la duplicación y sincronización de base de datos. Por ejemplo, para actualizar los datos de la base de datos central con los almacenados en una unidad remota, RTU, más actuales, o para actualizar un servidor de datos que ha quedado temporalmente fuera de servicio y se vuelve a poner en funcionamiento.
- **Accesibilidad:** Permite el intercambio o envío de información basándose en eventos. Por ejemplo, el envío automático de mensajes cuando se cumplen ciertas condiciones dentro de un sistema.

d) ASCII

Mediante el formato ASCII (*American Standard Code for Information Interchange*), común a prácticamente todas las aplicaciones informáticas, tenemos un estándar básico de intercambio de datos. Es sencillo exportar e importar datos de configuración, valores de variables, etc.

ASCII fue publicado como estándar por primera vez en 1967 y fue actualizado por última vez en 1986. En la actualidad define códigos para 32 caracteres no imprimibles, de los cuales la mayoría son caracteres de control que tienen efecto sobre cómo se procesa el texto, más otros 95

caracteres imprimibles que les siguen en la numeración (empezando por el carácter espacio). Con este número de caracteres y además por su gran popularidad, lo convierte en un formato bueno para la comunicación de los Sistemas SCADA.

e) API

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

d.2.6.4.1.2. Almacenamiento de Datos.

Al inicio los computadores estaban muy limitados en sus capacidades de almacenamiento de variables, tanto en cantidad como en tiempo. En el campo de la automatización se hace necesario el disponer de datos almacenados sobre un sistema, para poder realizar las tareas diarias, mantenimiento o reparar alguna avería. El almacenamiento de datos se lo realizaba por medio de ficheros, pero debido a que eran complicados de tratar debido a que tenían que estar perfectamente identificados y localizados en el disco, también se presentaban problemas en la compatibilidad de los formatos de los datos.

Luego aparecieron las bases de datos jerárquicas que permitieron ordenar los elementos por jerarquías, en las cuales un tipo de dato consiste en un subconjunto de otro tipo de datos más genérico. Pero este sistema tenía el limitante cuando se quería acceder a variables pertenecientes a distintos grupos de datos en diferentes niveles del esquema de variables. De esta forma, surgió la base de datos de red, capaces de interpretar las relaciones más complejas entre los diversos tipos de variables que aparecen.

El paso definitivo se consigue con las bases de datos relacionales. Este tipo de base de datos permite reflejar estructuras de datos, independientemente del tipo de programas que accede a los datos o de la estructura de éstos. En los sistemas de base de datos relacionales se hace uso de tablas de datos que contienen campos que sirven de nexo de unión o relación, y que permiten establecer múltiples combinaciones mediante la utilización de estos nexos. Este tipo de

organización permite la aparición de las arquitecturas del tipo Cliente-Servidor, simplificando la administración de los datos y los programas que trabajan con éstos.

d.2.6.4.1.3. Módulos de un sistema SCADA.

Los SCADA cuentan con algunas características que ayudan a tener el control sobre el sistema automatizado. Los sistemas por lo general suelen contar con módulos que permiten configurar el sistema, otros que se encarga de la visualización con pantallas emergentes, alarmas y avisos, otra que se encarga de almacenar datos, guardar historiales, etc.

Los siguientes son los módulos más comunes [17]:

a) Módulo de configuración

Permite definir el entorno de trabajo para adaptarlo a las necesidades de la aplicación. Por lo general, la estructura de pantallas se organiza de la forma más conveniente, estableciendo un desarrollo lineal o en árbol.

Los usuarios se clasifican según su importancia, creándose grupos con privilegios que permiten o limitan su influencia en el sistema. Herramientas de administración de usuarios, como la del Vijeo Citect, de Schneider Electric, permite una rápida estructuración de los permisos de acceso y utilización de la aplicación en sí. Se suele proteger al sistema con el manejo de claves personales para que solo el personal adecuado pueda realizar la manipulación del sistema.

Las pantallas de interfaz proporcionan una serie de herramientas que permiten realizar las tareas más comunes de forma rápida y sencilla, con solo escoger el elemento y arrastrarlo a la posición deseada. Las pantallas de alarmas se pueden organizar de manera distribuida (cada pantalla mostrará un grupo de alarmas) o centralizada (una pantalla única para todas las alarmas).

b) Interfaz Gráfica

Permiten la elaboración de pantallas de usuario con múltiples combinaciones de imágenes y/o textos, definiendo así las funciones de control y supervisión de planta.

Existen distintas librerías de objetos que hacen posible relacionar variables del sistema a objetos ya creados de forma muy sencilla. Por ejemplo, podemos visualizar el estado de una variable

analógica mediante un visualizador en forma de barra, arrastrándolo desde la librería hasta la ventana que estamos diseñando. Una vez en la pantalla, será posible editar y asignarle la variable a observar.

Los sistemas SCADA cuentan con elementos gráficos representativos de la mayoría de elementos que podemos encontrar en un sistema automatizado. Se puede encontrar gráficos como motores, tuberías, pulsadores, indicadores de temperatura, etc. esos elementos se asocian a una variable y según la programación que se le asigne, puede representar de manera gráfica su estado, si está actualmente operando, está en parado o si existe algún problema.

c) Tendencias

Nos ayudan representado gráficamente la evolución que toman las variables en el sistema, muestran la forma en la que están cambiando y las tendencias que toman sus valores. Son representados en gráficas con dos ejes, con tablas, barras, etc., dependiendo del sistema que se use, además, pueden mostrar los valores en tiempo real o los históricos que encuentran guardados en la memoria del servidor de datos. Estos valores también pueden extraerse a hojas de cálculo para su posterior análisis.

d) Alarmas y Eventos

Las alarmas se basan en la vigilancia de los parámetros de las variables del sistema. Son los sucesos no deseables, porque su aparición puede dar lugar a problemas de funcionamiento. Este tipo de sucesos requiere la atención de un operario para su solución antes de que se llegue a una situación crítica que detenga el proceso o para poder seguir trabajando.

El resto de situaciones, como apuesta en marcha, paro, cambio de consigna de funcionamiento, consultas de datos, etc., serán los denominados eventos del sistema o sucesos. Los eventos no requieren de la atención del operario del sistema, registran de forma automática todo lo que ocurre en el sistema. También será posible guardar estos datos para su posterior consulta.

Generalmente las variables de un sistema SCADA tienen asignados una serie de valores que definen su comportamiento dentro del sistema. Así, una variable que represente un valor de temperatura, arrastrará, por definición, datos tales como: temperatura muy alta, temperatura muy baja, temperatura norma.

Las alarmas suelen estar centralizadas y clasificadas en grupos de alarmas para mejorar su gestión. De la misma manera, se les puede asignar una prioridad, de modo que si aparecen

varias de forma simultánea, las más importantes aparecerán primero. También será posible presentar alarmas de diferentes orígenes en una misma pantalla.

Las personas encargadas del diseño del sistema de visualización, junto con los usuarios y los diseñadores de las máquinas a controlar, deberán decidir la categoría de cada alarma que se cree.

f) Registro y Archivo

El registro es el archivo temporal de valores, generalmente basándose en un patrón cíclico y limitado en tamaño. Por ejemplo, podemos definir un archivo histórico de alarmas de manera que almacene en disco duro hasta mil alarmas de forma consecutiva. En el momento en el cual se produzca la siguiente alarma se escribirá sobre la primera que se guardó (registro de tipo rotativo).

Los datos de alarmas y eventos que ocurren en el sistema suelen ir acompañados de más identificadores, tales como el momento en el cual ocurrieron o el usuario activo en ese momento.

También será posible definir que, una vez el registro de alarmas esté lleno, se guarde una copia en un archivo que no se borra, quedando a disposición del usuario que necesite recuperar esos datos.

g) Generación de Informes

Es cada vez más común la tendencia a complementar las funcionalidades de adquisición, registro de datos y generación de alarmas con la capacidad de generar información capaz de ayudar en la toma de decisiones. Por ejemplo, es de gran ayuda disponer de información referente a la situación de la planta, los niveles de producción en tiempo real, la generación y registro de alarmas, los cálculos de costos, los controles de calidad, gestión de producción, etc., estos valores son almacenados y luego procesados para desarrollar informes y evaluar el estado del sistema.

Mediante las herramientas SQL es posible realizar extractos de los archivos, los registros o las bases de datos del sistema, realizar operaciones de clasificación o valoración sin afectar a los datos originales. También permiten presentar los archivos en forma de informes o transferirlos a otras aplicaciones mediante herramientas de intercambio disponibles.

h) Control de Proceso

Lenguajes de alto nivel, como Visual Basic, C++ o Java, incorporados en los paquetes SCADA, permiten programar tareas que respondan a eventos del sistema, tales como enviar un correo electrónico al activarse una alarma concreta, un mensaje a un teléfono móvil del servicio de mantenimiento, o incluso poner en marcha o detener partes del sistema en función de los valores de las variables adquiridas.

i) Rectas

Al hablar de recetas, se refiere a archivos que guardan los datos de configuración de los diferentes elementos del sistema, como velocidad de proceso, presiones, temperaturas, niveles de alarma, etc. De esta manera, el procedimiento de cambiar la configuración de trabajo de toda una planta de proceso quedará reducido al simple hecho de pulsar un botón después de confirmar unos datos de acceso de seguridad como usuario, contraseña y número o nombre de receta. El sistema SCADA se encarga de enviar los datos a los correspondientes controladores, quedando la planta lista para las nuevas condiciones de trabajo. De esta forma se puede programar acciones de ayuda en caso de que se presenta una alarma que el programador prevea, evitando así mayores daños en la maquinaria del sistema o a los operarios que trabajan cerca del sistema.

j) Comunicaciones

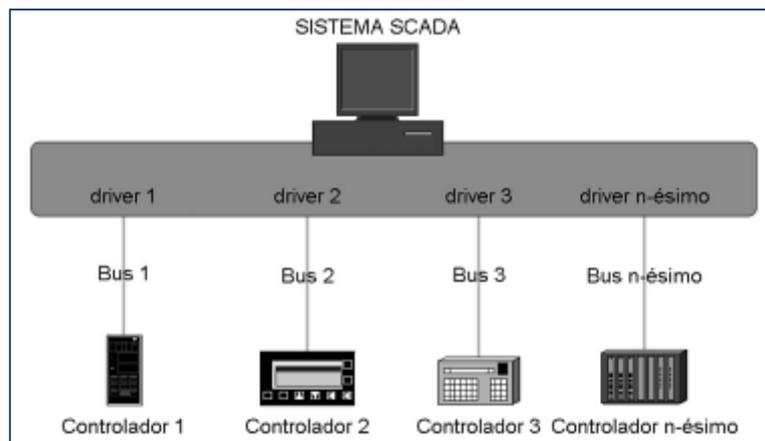


Figura 21. Controladores específicos [17].

Los sistemas de comunicación soportan el intercambio de información entre los elementos de planta, la arquitectura de hardware implementada y los elementos de gestión. Permite

implementar el sistema de controladores que realizarán el intercambio de información entre los elementos de campo y los ordenadores que realizan la recopilación de datos de información.

La conexión se realiza de dos formas [17]:

- **Controladores Específicos:** Son controladores que sólo permiten la comunicación entre un elemento determinado de campo y un sistema de captación de datos o servidor. Para cada enlace hace uso de un controlador determinado de cada elemento.
- **Controladores Genéricos:** Son controladores de tipo abierto. Están hechos en base a unas especificaciones concretas y de dominio público, cuya idea básica es definir una interfaz estándar entre elementos de campo y aplicaciones, independientemente del fabricante, simplificando así las tareas de integración. Un ejemplo de este controlador genérico es la tecnología OPC, que permite ser la llave de conexión entre la mayoría de sistema SCADA y autómatas programables.

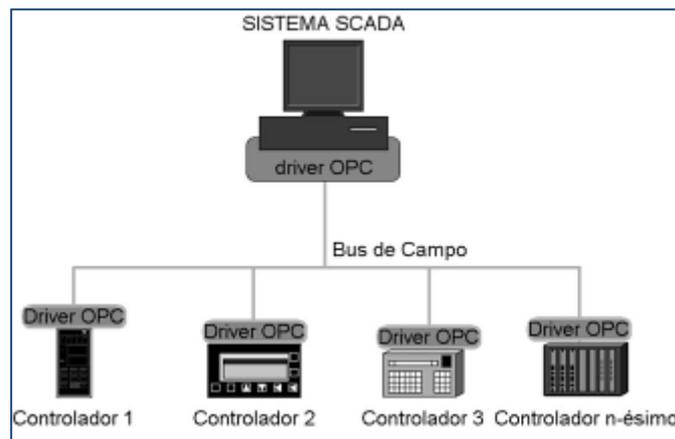


Figura 22. Controladores genericos [17].

d.2.7. Sistema SCADA en sistemas de canales de riego.

Un sistema SCADA, es una aplicación informática especialmente diseñada para funcionar sobre ordenadores para el control de procesos, proporcionando comunicación con los dispositivos de campo, y controlando el proceso de forma automática desde la pantalla de un computador. Además, provee de toda la información que se genera durante el proceso. En el computador se

efectúan tareas de supervisión y gestión de alarmas, así como tratamiento de datos y control de procesos, que se pueden ejecutar en tiempo real.

La función de los sistemas SCADA es monitorizar y controlar equipos en emplazamientos remotos. Este sistema efectúa el control y adquisición de datos, permitiendo llevar la información hacia y desde los elementos de operación hidráulica, mostrar el estado de funcionamiento de la red de riego y de la propia red de comunicaciones. Recibir las órdenes de la unidad de programación y gestión, efectúa las operaciones de telecontrol encargadas y devuelve la información del normal desenvolvimiento del riego o de los eventos que se hayan producido (consumo, averías, etc.).

En las redes de riego de las comunidades de regantes, el sistema SCADA se incorpora en un lugar especial, como lo puede ser, el centro de control de todo el sistema de riego. También se pueden utilizar sistemas SCADA a niveles de parcela, que cuentan con características distintas a la de un sistema de riego grandes.

La mayoría de los fabricantes de equipos de automatización, como Siemens, cuentan con su propio software SCADA, específico para sus equipos, pero también se puede encontrar sistemas SCADA que se comunican con un gran número de equipos de diferentes marcas haciendo uso del OPC (OLE for Process Control), que es un estándar de comunicación en el campo del control y supervisión de procesos industriales. Este estándar permite que diferentes fuentes de datos envíen datos a un mismo servidor OPC, al que a su vez podrá conectarse diferentes programas compatibles con dicho estándar.

Las aplicaciones SCADA desarrolladas deben contar con [13]:

- Un interfaz gráfico que proporcione al operador las funciones de control y supervisión del sistema, utilizando gráficos formados por un fondo fijo y varias zonas activas que cambian dinámicamente a diferentes formas y colores. Con los gráficos, se intenta esquematizar la instalación, y sobre ellos, se presentan las variables de entrada y salida.
- Generación de históricos de señal de las variables del proceso, que pueden ser volcados para su proceso sobre una hoja de cálculo.
- Paneles de alarma para reconocer una parada o situación de alarma, con registro de incidencias.
- Creación de alarmas, avisos y documentación en general.
- Gestión de los archivos de datos para su procesado, incluso realizando cálculos complejos, y almacenamiento de los mismos, contando con la posibilidad de

comunicarse con impresoras, bases de datos, hojas de cálculo, etc., de forma que otra aplicación o dispositivo pueda tener acceso a ellos.

Actualmente existen equipos para la adquisición de datos y control que permiten incorporar aplicaciones SCADA y acceder a ella desde cualquier ordenador a través de internet mediante un servidor web dedicado.

Todos los instrumentos de campo, tanto aquellos que permiten realizar la automatización o control del sistema, como lo son los actuadores, y los encargados de captar la información del sistema, como es el caso de los sensores, deben ir conectados a un equipo para la adquisición de datos el control, como puede ser un autómeta programable. El SCADA debe ser abierto, es decir, capaz de crecer y de sufrir modificaciones según las necesidades del cliente, amigable y de uso sencillo. Además, debe permitir la comunicación con otros computadores a través de redes locales para la gestión de los usuarios regulares.

d.3. CAPÍTULO III: CONTROL AUTOMATIZADO DE CANALES DE RIEGO

d.3.1. Introducción

El objetivo del control automatizado del canal de riego es describir los pasos necesarios para garantizar el nivel y flujo de agua requerido para solventar las necesidades de la comunidad regante. La estructura de los canales ayuda a transportar el agua necesaria para el sistema. Desde la bocatoma hasta las redes de distribución, el agua pasa por distintos elementos de control, que permiten mantener al sistema de canales estable. Sin estas estructuras de control, el sistema fluctuaría en un estado de gran desperdicio del líquido cuando la demanda disminuye, causando el desborde del líquido y produciendo graves daños a lo largo del canal; y un estado de desabastecimiento del agua, debido a la mala planificación del sistema ante la demanda del líquido. Estos estados se pueden presentar con facilidad a lo largo de un día de funcionamiento.

En los sistemas de canales convencionales, un operario realiza las labores de control, manipulando las compuertas que se encuentran a lo largo del sistema de canales, de forma manual. Este operario se lo conoce como canalero, y debe cubrir grandes distancias para llegar a las estructuras de control y realizar las modificaciones necesarias, por lo que el sistema no presenta una buena eficiencia en la entrega del líquido.

El control automatizado de los canales permite realizar esta tarea de una forma más eficiente y rápida. Con ayuda de elementos de control automatizados, el trabajo del canalero se puede especializar, mejorando los servicios del sistema.

Existen diversas formas de realizar el control del sistema de canales, dependiendo de las necesidades y características del sistema. Por ejemplo, en sistemas no muy sofisticados, se puede realizar el control, automatizando únicamente las compuertas de control. Se puede incluir elementos que le den algo de independencia en su funcionamiento, pero en general, se necesitará de la presencia de un canalero para realizar su manipulación. En sistemas con más inversión se puede tener elementos de control automatizados que se puedan manipular desde una estación central, con la ayuda de un monitoreo a lo largo del sistema, que le permite gobernar al sistema de canales desde una estación central, limitando el trabajo de los canaleros a actividades de mantenimiento y de emergencia.

d.3.2. Fundamentos de automatización del sistema del canal.

Los sistemas de canales son estructuras encargadas de conducir el agua desde una fuente de captación que puede ser un río, lago o embalse, hasta los lugares en donde se realiza la actividad agrícola, de la forma más eficiente y económica posible, utilizando los recursos disponibles.

La automatización del sistema de canales mejora las operaciones generales del canal, incrementando el potencial de tierras de cultivos. Se mejora el tiempo de reacción ante las necesidades de los agricultores, se maneja más eficientemente las cantidades de líquido que usa en el sistema y se puede incluir nuevas prestaciones para facilitar el trabajo de los regantes.

d.3.2.1. Objetivos y beneficios.

El objetivo de la automatización del sistema del canal es actualizar la operación del canal. Con ayuda de la instalación de un sistema práctico y moderno de control se puede mejorar la transferencia de agua y muchos de los problemas presentes en los métodos convencionales de operación se pueden superar.

Algunas de las ventajas de la automatización del canal son [7]:

- Transferencia rápida del agua, en pequeñas y grandes cantidades, con cambios frecuentes.
- Tener una operatividad flexible cuando la información simultánea de todo el sistema es conocida.
- Se puede ajustar el flujo del agua en el canal para adaptarse a las distintas necesidades de los agricultores.
- Se obtiene una respuesta rápida a las variaciones imprevistas en el canal para evitar inundaciones o problemas en general a lo largo del sistema.

Las ventajas en la automatización del canal son utilizadas para mantener el buen funcionamiento del sistema y contar con una respuesta rápida ante problemas de suministro a la entrada del canal, o bien, causadas por cambios bruscos y no programados de demanda del líquido en el sistema. El control del canal reduce la necesidad de exceso de flujo y reduce al

mínimo los casos de escasez del líquido en los ramales inferiores. Con la automatización del canal se logra una transferencia más óptima del recurso hídrico.

Por lo tanto, algunos de los beneficios de la automatización en los sistemas de canales son [7]:

- Mejor servicio a los usuarios del canal.
- Transferencia más eficiente del agua.
- Mayor control en el sistema por parte de los operarios encargados.

Los beneficios intangibles asociados con una mejor transferencia de agua son significativos. Los usuarios del agua son los principales beneficiarios. Los usuarios del agua reciben una cantidad programada de agua a la hora especificada, sin las limitaciones impuestas por el método convencional de operación. Los usuarios del agua tendrán mayores beneficios económicos al contar con un mejor servicio.

Además, la transferencia eficiente del agua podría resultar en un beneficio económico para las parcelas que hace uso de sistemas de bombeo para llevar el agua a sus tierras de cultivo. Con sistemas más eficientes se puede disminuir el tiempo de uso de los sistemas de bombeo.

Como resultado de la automatización del sistema de canales se tiene el ahorro significativo en el costo de mantenimiento asociado al revestimiento de los canales. La frecuencia con la que cambia el nivel del agua dentro de los canales revestidos causa serios daños, por lo que es importante lograr un mayor control de este valor para lograr minimizar su deterioro [18].

En la mayoría de los sistemas de canales automatizados se consigue un ahorro en los costos de operación y mantenimiento, debido a que se reduce el número de canaleros o del personal encargado del manejo de las compuertas de los canales. Sin embargo, incluso con la automatización del canal, se necesita algún tipo de cobertura en el sistema. Además, hace necesaria la implementación de personal técnico especializado para realizar labores de mantenimiento y reparación de fallas.

La decisión de implementar un sistema de control automatizado no debe justificarse únicamente en los beneficios económicos tangibles. Las operaciones del canal varían de un canal a otro, dependiendo del tipo de instalaciones de entrada y salida, la capacidad de flujo del canal, y la combinación particular de las demandas de servicio. Antes de un análisis de costo/beneficio, se debe identificar las necesidades de funcionamiento y necesidades específicas del sistema de distribución [7].

d.3.2.2. Operación y control del canal.

La demanda del líquido por parte de la comunidad regante determina las acciones que se realicen en las estructuras de control del canal, realizado la apertura o cierre de compuertas para poder satisfacer la demanda. De igual forma, el control del canal dependerá de las condiciones de canal, aguas arriba y aguas abajo.

d.3.2.2.1. Operación del canal.

Para cumplir con la demanda del líquido, de la comunidad regante, se puede emplear varios métodos de planeación y control, que son la forma en la que se organiza y ejecuta los planes de riego. Los métodos de planeación más comunes son [18]:

- **Planeación aguas abajo:** En este método se planea los horarios de riego y cantidades de agua a usar, en dependencia de la demanda aguas abajo o de las entregas del líquido programadas. El método de planeación aguas abajo se aplica a los sistemas de canales que están principalmente orientadas a la demanda y por lo general se asocia con sistemas de entrega del líquido.
- **Planeación aguas arriba:** Los horarios y cantidades del líquido transportados en el sistema, dependen de las condiciones de las fuentes de suministro de agua. El concepto de la planeación aguas arriba se aplica a los sistemas de canales que están principalmente orientadas a la oferta y por lo general se asocia el concepto de sistemas de colectores, que cuentan con ingresos de agua a lo largo del canal principal.

Los conceptos utilizados para controlar el sistema de canales se definen por la localización de la información necesaria para el control en relación con la estructura de control. Por lo tanto, se tiene dos principales formas de control [18]:

- **Control aguas abajo:** Se basan en realizar las maniobras de control de acuerdo a la información aguas abajo. La información requerida puede ser medida con un sensor situado aguas abajo o basarse en datos recogidos de la demanda del agua en la zona de riego que se encuentra luego de la compuerta de control del sistema. El control aguas abajo es compatible con la planeación aguas abajo.

- **Control aguas arriba:** Se basan en realizar las maniobras de control de acuerdo a la información de aguas arriba. La información necesaria podría ser medida por un sensor colocado aguas arriba o estar basada en la programación de agua arriba establecido por el director del sistema de riego. El control aguas arriba es compatible con la planeación aguas arriba.

Los sistemas de canales que cuenten con una planeación aguas abajo, deben usar un control de aguas abajo, de igual forma sucede con los sistemas con planeación de aguas arriba y el control de aguas arriba, esto dependerá del objetivo del sistema. Por ejemplo, un sistema de canales puede ser diseñado principalmente para proporcionar agua a los agricultores durante la temporada de riego, que es una operación orientada a la demanda y debe de contar con un control y planeación aguas abajo. En cambio, otro sistema de canales puede ser el encargado de transmitir flujos de agua excedentes que se producen durante la temporada de lluvias o de riego aguas abajo en un depósito de almacenamiento, por lo tanto, se debe de usar un control y planeación aguas arriba.

Se puede presentar el caso de que un sistema debe cambiar de control y planeación debido a sus circunstancias, por ejemplo, un sistema orientado a la demanda tiene una cantidad limitada o fija de suministro de agua disponible en las obras de cabecera del canal. El limitado suministro de agua podría ser causada por condiciones de sequía o simplemente un suministro insuficiente para satisfacer la demanda de agua requeridos. El sistema de suministro se vuelve orientado a la oferta y el limitado suministro de agua determina la planeación del canal, por lo tanto, el canal se debe operar con el concepto de planeación y control aguas arriba.

d.3.2.2.2. Control básico.

El objetivo del control del canal es describir los pasos necesarios para garantizar el nivel y flujo de agua requerido a lo largo del canal. Estas condiciones se consiguen mediante el ajuste de sistemas de bombeo, o en los casos más comunes, con la regulación de la posición de las compuertas.

Los métodos de control más comunes son el control a lazo cerrado y control a lazo abierto. El control a lazo abierto es en donde la cantidad controlada se ajusta sin comparaciones con la respuesta real o a las condiciones deseadas. Control de lazo cerrado es donde se mide la

cantidad controlada y se compara con una referencia o estándar que representa el rendimiento deseado. Cualquier desviación de la referencia se alimenta de nuevo en el sistema de control de manera que se reducirá la desviación de la cantidad controlada de la de referencia [7].

d.3.2.2.2.1. Elementos Básicos de Control.

Los elementos de un sistema de control de retroalimentación sencilla consisten en el sensor, el comparador, elemento de control y el actuador.

El sensor proporciona una entrada al sistema de control. El sensor también convierte parámetros observables tales como el nivel de agua, flujo, o posición de la puerta a una cantidad que puede ser utilizado por el sistema de control. En un sistema de control de canales, a menudo se utiliza más de un sensor.

Un punto de referencia es una entrada de referencia al elemento de comparación. Si la señal del sensor es diferente del valor del punto de referencia, el elemento de control activa al actuador. El valor de referencia de consigna se refiere a veces como el valor objetivo para sistemas de control de canal. La desviación del punto de consigna (valor objetivo) se llama el error [7].

Un comparador es un dispositivo que compara dos entradas y proporciona un error (o diferencia) como una salida. En los sistemas de canales, se compara el valor de entrada desde el sensor (o sensores) con el valor de consigna y se obtiene una señal de error correspondiente al elemento de control.

El elemento de control realiza el mismo conjunto de pasos que un canalero hace para ajustar un sistema de canales de la forma habitual. El elemento de control decide la acción de respuesta de acuerdo a la programación y valores que se obtiene en el sistema. Los ajustes los realiza de forma automática y proporcional, estableciendo las acciones que debe cumplir el actuador. El elemento de control a menudo se refiere como controlador. A veces, el sistema completo, desde el sensor hasta el actuador, se le llama controlador.

El actuador convierte la salida del elemento de control a una operación mecánica que efectúa la operación de control del sistema. En un sistema de canales del actuador convierte la salida del elemento de control a una acción eléctrica, mecánica o hidráulica. Por ejemplo, en compuertas

de canales, realiza la apertura o cierre de las mismas, en sistemas dentro de parcelas la apertura o cierre de válvulas; y en sistemas de bombeo, para encender o parar los motores.

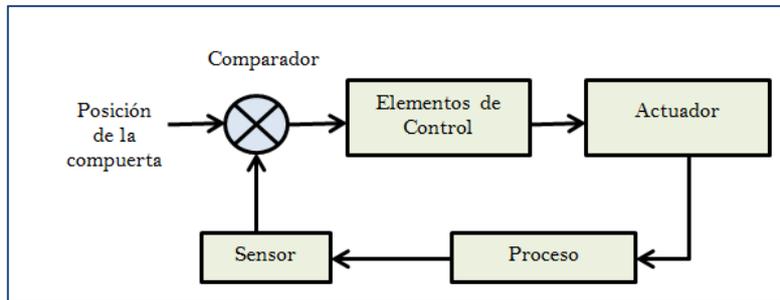


Figura 23. Sistema de control de lazo cerrado simple. [Autoría propia]

d.3.2.3. Requerimientos básicos de operación.

Los requisitos operacionales básicos para un sistema de canales son [7]:

- Ofrecer el agua suficiente para los desvíos de canal y las distribuciones en las ramificaciones de los canales.
- Transferir las cantidades de agua necesarias desde la fuente aguas arriba a los puntos de distribución aguas abajo en los tiempos requeridos.
- Manejar la demanda del líquido en los regantes y las fuentes de suministro de forma equilibrada.
- Operar dentro de las limitaciones impuestas al sistema de canales.

Todos los sistemas de canales tienen limitaciones operativas que deben ser consideradas cuando el agua está siendo transportada aguas abajo. Algunas limitaciones son [7]:

- Mantener los niveles de agua dentro de los límites especificados máximos y mínimos para evitar daños por encima del revestimiento de canales y para proporcionar un servicio fiable en las ramificaciones del canal.
- Limitar el descenso del nivel de agua del canal a una tasa máxima especificada por hora y por día para evitar daños en el revestimiento de canales
- Optimizar el consumo de energía en caso de sistemas de bombeo para reducir los costos de energía y mantenimiento.
- Coordinar los programas de mantenimiento.

La responsabilidad principal del personal de operación, cuando se trata de un sistema de canales de entrega del líquido, es que coincida el flujo del canal con la demanda del canal o con los pedidos de la comunidad regante. La programación de la demanda de agua, teniendo en cuenta el tiempo y cantidad, es muy importante para el personal de operaciones.

La cantidad de agua ordenada se libera de las obras de cabecera del canal en un plazo de ejecución predeterminado antes del tiempo real de la entrega, debido al tiempo que toma en llegar el agua a las zonas de trabajo. Los usuarios del agua deben cumplir con sus horarios anunciados y mantener desviaciones uniformes desde el sistema de distribución a la parcela, para que el sistema de canales permanezca equilibrado.

Los sistemas de canales grandes, que hacen uso la gravedad para hacer llegar el agua desde la bocatoma a las zonas de riego, se regulan por medio de compuertas de control a lo largo del canal principal, con su apertura o cierre. En los sistemas con bombeo se encienden, detienen o se manipula la potencia de accionamiento de las bombas. Es difícil que el flujo del agua en los sistemas de bombeo coincida con la cantidad exacta de la demanda, pero en general, se tiene un buen desempeño con el cumplimiento de las demandas del agua [18].

Es muy difícil que los sistemas de canales cuenten con un flujo siempre constante, ante variaciones en la demanda por parte de los regantes. Así también, existen más situaciones que influyen negativamente en el control, como son los desajustes menores a lo largo del canal, la diferencia de tiempo en la llegada del líquido, las variaciones en la prestación del líquido, entre otros.

d.3.2.4. Entrega y demanda.

Los sistemas de canales se encargan de hacer llegar el agua de las fuentes de captación a las zonas de cultivo, pero este proceso se vuelve complejo al tener que cumplir con distancias largas, con demandas muy variables del líquido, con cambios en las fuentes de captación del canal, entre otros problemas.

En los sistemas comunes de canales, los canaleros realizan el trabajo de maniobrar las estructuras de control, como lo son las compuertas a lo largo del canal, elevando o disminuyendo su nivel, según la demanda del líquido y su experiencia en el trabajo, por lo que su funcionamiento no es preciso y está susceptible a muchos fallos, ocasionando que los

propietarios de las parcelas no cuenten con el líquido de forma inmediata y en las cantidades necesarias. Este problema se soluciona en algo con la inclusión de la automatización del sistema, permitiendo realizar las maniobras de control de forma más rápida y en relación directa con valores reales del sistema [6].

El director del canal, debe controlar la demanda y entrega del líquido, debe programar los horarios de riego y entrega del líquido de acuerdo a las necesidades de los regantes, tomando en cuenta las posibilidades que tiene la bocatoma del sistema, evitando sobretodo que el sistema se encuentre con un desabastecimiento del líquido al contar con una demanda mayor que las posibilidades del sistema. Con la ayuda de la automatización del sistema se puede tener un mayor control del mismo, permitiendo tener los niveles reales de la demanda y entrega del líquido, disminuyendo la posibilidad de errores en el sistema.

El aumento de eficiencia en el sistema de riego se obtiene mediante la transportación del agua en el tiempo requerido. La automatización del canal permite esta y más ventajas, por ejemplo, se puede actuar de forma inmediata a cambios repentinos en el clima como la lluvia, lo que permite disminuir las cantidades de agua desperdiciadas, en el caso de que la temperatura esté muy elevada debido a un aumento de la radiación solar, el director del canal, puede ordenar la apertura de las compuertas y regar las zonas de cultivo, cuidando los cultivos de forma oportuna.

d.3.2.5. Aplicaciones de automatización.

La automatización de los sistemas de canales permite responder rápidamente y con una mayor flexibilidad, las demandas de los regantes, obteniendo sistemas más eficientes y rápidos [13].

Un ejemplo de la flexibilidad de los sistemas de canales automatizados se presente en muchos de los sistemas de canales que se encargan de transportar el líquido desde una fuente, en la cabecera del sistema, hasta la zona de trabajo. Por lo general, los niveles de agua que tiene la bocatoma del canal, tiene una importante incidencia en el resto del canal. Tanto es así, que si la bocatoma del canal tiene una variación del 5% de su capacidad, podría dar lugar a una variación del 50% en el flujo de los canales secundarios, más cercanos a las zonas de cultivo [7]. Se requieren medidas correctivas inmediatas para ajustar los canales intermedios manipulando sus compuertas y evitando que el sistema se quede sin el suministro de agua. Un aumento súbito o

imprevisto de bombeo en alguna parcela, podría causar una grave escasez de agua a los usuarios aguas abajo.

En los sistemas de canales que cuentan con sistemas de bombeo en lugares intermedios del sistema, la planeación del sistema tiene previsto que el sistema de bombeo necesite un mayor volumen del líquido para su abastecimiento. En el momento en que el sistema de bombeo se detiene inesperadamente, las cantidades de agua que estaban planeadas para ese tramo se empiezan a acumular y llegan a producir problemas de inundación en los tramos del canal aguas abajo. Los sistemas automatizados permiten que se detecte este inconveniente y se pueda dar ajuste a las compuertas en la parte superior del sistema, deteniendo o minimizando las pérdidas del líquido y daños en la zona [7].

Los sistemas de riego modernos requieren una respuesta rápida a los cambios de flujo en el sistema de canales. Es difícil para un canalero tomar medidas correctivas rápidas cuando los cambios de flujo se producen con frecuencia, o sin previo aviso. La principal limitación a una operación de sistema de canales convencionales es el número de visitas por día un canalero puede lograr a lo largo del canal o canales. Por lo general, el canalero solo tiene tiempo suficiente para hacer uno o dos viajes a lo largo del sistema de canales durante la jornada de trabajo. Esto limita la flexibilidad con la que los agricultores pueden hacer cambios en su horario de riego.

Los sistemas de riego comunes también, cuentan con la dificultad de no poder operar en horas de la noche, los canaleros difícilmente se pueden trasladar en la noche a realizar las maniobras de control. Los sistemas automatizados, permiten realizar tareas de control en horas de la noche y programar el riego en las parcelas, lo que permite optimizar de mejor forma el recurso hídrico y mejora las prestaciones para los campos de cultivo.

d.3.3. Métodos de control de sistema de canales.

En general, para los sistemas automatizados de canales se pueden emplear cuatro métodos básicos de control, el control local manual, el control automático local, el control supervisado y el método de control combinado. A continuación se presentan más detalladamente estos métodos.

d.3.3.1. Control manual local.

El método de control manual local es el más utilizado. En este método, los operadores del canal o canaleros, viajan a lo largo del sistema ajustando las compuertas de control y de desvíos de los canales, de acuerdo a la demanda y horario de riego establecido. En sistemas un poco más actualizados, se hace uso de maquinaria para ahorrar el trabajo, utilizando compuertas motorizadas con accionamiento manual, por lo que es necesaria la presencia del canalero en la zona de control.

Cuando el sistema de canales es muy grande se hace necesario el empleo de muchos canaleros, que por lo general, se deben dividir de manera que cada canalero sea responsable de una parte del sistema. Los canaleros deben contar con comunicación y órdenes específicas para poder realizar el trabajo de control de una mejor forma. Un canalero experimentado puede anticipar la llegada de los cambios de flujo en cada una de las estructuras que controla y de esta forma realizar los ajustes necesarios.

Además, los canaleros pueden intercambiar datos del canal, como los niveles de agua y las posiciones de la compuerta, mediante comunicaciones por radio al director del canal que se encuentra en la estación central y a otros canalero en otras zonas del canal. Esto permite la coordinación de las operaciones entre el equipo del director del canal y los canaleros en el campo. La calidad de las operaciones del canal depende de la habilidad del equipo que opera dentro de las limitaciones del sistema de canales.

d.3.3.2. Control automático local.

El método de control automático local se lleva a cabo con equipos de control automático ubicados en los sitios de control, en donde comúnmente se encuentran las compuertas del canal. Existen diversos tipos de equipos de control que pueden ser utilizados, por ejemplo, existen dispositivos de control con flotación simple, y dispositivos de control con complejos arreglos que incluyen componentes mecánicos, eléctricos, electrónicos y de controladores lógicos programables.

Normalmente, el control automático local se lleva a cabo sin la intervención del operador. Un controlador local detecta uno o más elementos de información tales como el nivel del agua en

los canales o la posición de las compuertas, y se utiliza un conjunto bien definido de reglas para producir una respuesta de control. A veces, esta lógica de control puede ser incorporado en un dispositivo mecánico, que puede ser, un flotador, interruptores, o un contrapeso unido a la compuerta. Por lo general, esta lógica se puede expresar como una ecuación matemática llamada algoritmo de control. Estos algoritmos interpretan la información detectada del canal y calculan una acción de control, tal como el accionamiento de la compuerta. Un controlador automático local se compone del equipo necesario para ejecutar el algoritmo de control, tomando la información de las señales de entrada y ejecutando las señales de salidas necesarias para que el sistema trabaje con normalidad. Por lo general, se encuentra en cada estructura de control una unidad del sistema de control automático [7].

Existen diferentes algoritmos que se pueden utilizar en los controladores automáticos locales. En la mayoría de ellos, el objetivo es ajustar la apertura de la compuerta de control, basado en el nivel del agua medido en un solo punto en el canal, en un intento de mantener una profundidad constante en ese punto donde se mide el nivel del agua.

El diseño de un sistema de control automático local requiere tanto el conocimiento técnico y la experiencia práctica. Un buen controlador automático local combina la teoría de control con el funcionamiento práctica de los sistemas de canales. La mayoría de los algoritmos de control locales contienen constantes o parámetros de control que deben ser calibrados para cada aplicación particular. Se necesita una combinación de experiencia en ingeniería de control y operador para diseñar, construir, instalar y operar un sistema de controladores automáticos locales.

Después de la instalación inicial, el equipo local de control del canal automático no debe requerir de ajustes en el terreno por parte de un canalero, aunque si será necesario un mantenimiento periódico, monitoreo y ajuste de los parámetros del canal de vez en cuando. La mayoría de los sistemas de control automático local deben tener un sistema de alarma centralizada para informar de emergencias en el canal. Un sistema de alarma notifica a la estación central de condiciones anormales, como la insuficiencia del control del equipo, los niveles altos o bajos de agua, cortes en la energía local, y los fallos en los canales de comunicación. La comunicación es necesaria entre cada controlador de compuerta y la estación central, para proporcionar información del estado del sistema. Esto puede ser tan simple como una sola alarma que indique un fallo en general o tan complejo como un sistema de telemetría que proporciona alarmas específicas, niveles de agua, y las posiciones de la compuerta en los

puntos de control. El director del sistema, que se encuentra en la estación central, puede monitorear la condición de las alarmas e iniciar de inmediato las medidas correctivas.

d.3.3.3. Control supervisado.

Este método de control consiste dar seguimiento y control a las estructuras del canal desde una ubicación central denominada estación maestra o Centro de Control.

El monitoreo es la recolección de datos de varios sitios en el sistema de canales y la presentación de esta información para su uso en la determinación de las acciones de control. Los datos tales como los niveles de agua, posiciones de la compuerta, flujo y estado de la bomba, se recogen de cada ubicación remota. La información recogida en todos los lugares remotos se transmite a la estación maestra donde se almacena, analiza, y es puesto a disposición para su presentación, en un formato adecuado, cuando lo solicite el operador. Normalmente, las decisiones de control se originan en la estación maestra. Luego, los comandos de control se transmiten de nuevo a los sitios remotos mediante la creación de acciones de control, que pueden ser la apertura o cierre de las compuertas.

El método de control supervisado requiere equipos para la recolección de los datos, la comunicación y el control. Cada sitio remoto requiere una unidad terminal remota o estación remota (RTU). La estación remota recoge los datos, se comunica con la estación maestra y controla el sitio remoto en base a la información recibida de la estación maestra. Se requiere un sistema de comunicación entre cada estación remota y la estación maestra para permitir la comunicación de la información resultante del monitoreo y del control. Una estación maestra debe realizar las siguientes tareas [7]:

- Supervisar y controlar las estaciones remotas (RTU).
- Proporcionar el cálculo necesario para preparar y analizar los datos.
- Proporcionar la interfaz hombre-máquina.
- Formular mensajes de control a las estaciones remotas.
- Interpretar los mensajes provenientes de las estaciones remotas ubicadas a lo largo del sistema.

Debido a la complejidad del hardware, el software y el requisito de un sistema de comunicación, los sistemas de control supervisados son caros de implementar.

El control de supervisión permite tomar decisiones de control que se basan en la información de todo el sistema de canales. Un cambio en cualquier parte del sistema puede ser reconocido con rapidez y la acción de control apropiada puede ser tomada de inmediato. Esta capacidad maximiza la flexibilidad operativa de un sistema de canales. Los métodos de control manual y automático se pueden implementar con el control de supervisión.

La función de supervisión del sistema del canal incluirá funciones automáticas. Normalmente, los datos se recogen de forma automática en los sitios remotos y se transmiten a la estación maestra. Luego, se difundirán los datos almacenados que se presentarán en la estación maestra. Pantallas generadas por computadora a menudo se utilizan para presentar esta información en un formato gráfico. El personal de operaciones puede observar las condiciones actuales y tendencias solicitando las pantallas deseadas desde un menú o con las entradas del teclado. Normalmente, la estación maestra contará con alarmas automáticas para asegurar que el personal de operaciones esté enterado de las condiciones peligrosas o anormales en el sistema.

El método de control supervisado puede implicar diferentes niveles de participación del personal de la estación principal en la toma de acciones y decisiones específicas de control. El control real del sistema de agua puede ser manual, automática, o una combinación de los dos. No existe un control totalmente automático supervisado, sin ninguna intervención por el personal de operaciones. Es siempre necesaria algún tipo de intervención humana en el proceso de control. El control de supervisión será categorizado como automático cuando al menos algunas de las decisiones y acciones de control se llevan a cabo de forma automática.

d.3.3.3.1. Control manual supervisado.

Este método de control transfiere los datos de los cancheros desde el campo a una ubicación central. El operador, director del sistema, puede supervisar los datos enviados a la estación maestra de cada estación remota. A partir de estos datos, el operador determinará la acción de control apropiada para controlar el sistema de canales. Los comandos de control se envían desde la estación maestra a cada estación remota, RTU. La RTU ejecuta los comandos mediante la emisión de señales de control al equipo de estructura de control como lo es la compuerta del

canal. Estos comandos de control son órdenes simples como subir o bajar la compuerta, encender o apagar las bombas del sistema. Si se presentan dos o más pasos para una secuencia de control especial, el operador debe ejecutar manualmente cada paso [18].

El control manual supervisado depende por completo de las decisiones que tome el director del sistema. Todas las decisiones y acciones de control se llevan a cabo de forma manual, sin la ayuda de la lógica ejecutada automáticamente. Las estaciones remotas no ejecutarán algoritmos de control automático, sino simplemente llevan a cabo las órdenes de control recibidas de la estación maestra. Este método de control es apropiado cuando la operación de sistema del canal es relativamente simple y cuando los resultados de las acciones de control son predecibles. El principal inconveniente se presenta en los sistemas que requieren acciones de control frecuentes por parte del personal de operación; típicamente, se requerirá la atención del operador 24 horas al día, dificultando la implementación de ese sistema de control [7].

d.3.3.3.2. Control automático supervisado.

Este control incluye funciones automáticas, además de la supervisión de los datos. La intervención del operador, dentro del control del sistema, puede variar ampliamente; algunas de las operaciones de rutina se podrán realizar automáticamente. Por lo tanto, se producen varios niveles de control automático supervisado. El nivel de la participación manual del personal disminuye a medida que aumenta el nivel de automatización.

El primer nivel se puede llamar de posicionamiento. En vez de enviar las órdenes explícitas de cada movimiento a las estructuras de control, el operador puede establecer un punto de referencia que se ha de lograr de forma automática. Por ejemplo, el operador puede transmitir una nueva posición de la compuerta como un punto de ajuste a la estación remota en una estructura de control en particular. Entonces, la estación remota moverá automáticamente la compuerta a la posición deseada sin la intervención de un operador adicional.

El primer nivel de automatización cuenta con una variante que es el control secuencial. El control secuencial permite que con un único operador se pueda ejecutar una secuencia de control que implique varios pasos. Por ejemplo, el comando para iniciar una unidad de bombeo en una planta de bombeo puede incluir la selección de la unidad, el monitoreo de la presión del

aceite, los controles de temperatura, el funcionamiento de las válvulas y el control motor de la bomba.

Tanto el control por posicionamiento y el control secuencial son extensiones del control manual en la que cada acción de control debe ser iniciado por un operador. La acción de control es automática en la medida en que el operador no tiene que realizar todos los pasos en la ejecución del proceso de control deseado.

El segundo nivel de control automático supervisado incluye la lógica decisional, es decir, debe tomar decisiones automáticamente, como si debe o no hacer una acción de control y cuál debería ser esa acción. Nuevos puntos de ajuste se calculan automáticamente, en lugar de ser introducida por el operador. La intervención del operador se reduce de esta manera aún más. En este nivel, el operador del canal ajustará periódicamente el control automático y puede cambiar a control manual en caso de emergencia.

Un ejemplo de la toma de decisiones automáticas es el uso del flujo del canal como el valor de consigna. El algoritmo de control de flujo para una estructura será bastante complejo. En él se incluirán la recolección y evaluación de los niveles de agua, las posiciones de las compuertas, y otras propiedades en la estructura de control. El punto de consigna es una entrada dada por el operador a un algoritmo que utiliza todas las variables para calcular el flujo y operar una o más compuertas con el objetivo de alcanzar y mantener el punto de ajuste de flujo deseado en el canal. En una planta de bombeo, el control de consigna de flujo puede incluir la selección automática de unidades, el control de velocidad de bombas de velocidad variable, y las operaciones de las válvulas [7].

El proceso automático del sistema es iniciado manualmente. El director del canal todavía toma las decisiones de control en el canal a pesar de que la aplicación de esas decisiones es sobre todo automatizada.

El control automático de toma de decisiones automáticas se puede utilizar para mantener una profundidad o volumen de agua deseado. El personal de operaciones debe proporcionar una posición de funcionamiento deseada, tal como la profundidad del o volumen que debe mantener el canal. Los algoritmos de control pueden ser ejecutados ya sea en las estaciones remotas o en la estación maestra.

El operador debe tener la capacidad de ajustar varios parámetros de control como el flujo de agua en el canal, mientras el sistema está en control automático. El operador debe ser capaz de

cambiar el sistema a control manual para responder a las emergencias o realizar cambios en las condiciones del canal. Este nivel de control automático de supervisión se utiliza normalmente en condiciones de funcionamiento normal, haciendo ajustes rutinarios a las compuertas y liberando al personal para realizar otras tareas.

El tercer nivel de control automático supervisado se llama control dirigido por computadora. Este sistema de control automático utiliza programas informáticos especialmente diseñados para sistemas de control, que se utilizarán desde la estación maestra [18].

Estos programas informáticos utilizan los datos de todo el sistema de canales, estudios de modelos y los datos históricos para controlar el sistema de canales. El control automático supervisado dirigido por computadora, es aplicable a los proyectos de agua más complejos; que puede incluir programas de optimización para permitir que un proyecto pueda operar de la manera más eficiente y económica posible.

d.3.3.4. Método de control combinado.

Muchos sistemas de canales utilizan una combinación de dos o tal vez tres de los métodos de control anteriores. El método de control puede cambiar a medida que el operador cuente con las herramientas necesarias en cada método. La combinación más común es el uso de un control manual como sistema de seguridad para el control automático en el caso de que se produzca pérdidas de energía, fallas en los equipos u otras situaciones de emergencia. Cualquier sistema de control automático, no importa cuán sofisticado sea, debe poder desactivarse y volver al control manual cuando la lógica de control falla o se detecta un error en la operación del equipo. Cualquier cambio en el estado normal del funcionamiento automático debe señalarse al director del canal por medio de alarmas.

El control manual y automático se utiliza a veces de forma simultánea en diferentes ubicaciones del sistema de canales. Los canales que son predominantemente controlados de forma manual pueden utilizar controladores automáticos locales únicamente en determinados lugares. Por ejemplo, los sistemas de canales que transportan el líquido a las zonas de riego, puede requerir un controlador automático local para mantener un caudal constante si el nivel de agua del canal principal cambia con frecuencia. Los canaleros pueden no ser capaces de visitar el sitio con la frecuencia suficiente para hacer los ajustes necesarios de apertura de compuertas. Cuando se

desean cambios en el flujo del líquido, el sistema entraría en un nuevo punto de ajuste y en el caso de no poder realizar las maniobras de control manualmente, entraría el sistema automático a realizar los ajustes necesarios. Por lo tanto, este sistema combina los métodos de control automáticas y manuales.

Se puede tener sistemas combinados del control automático local con el control supervisado. Mediante el uso de estaciones remotas, RTU, con capacidad de control independiente, la frecuencia de la comunicación con la estación maestra puede reducirse en gran medida. Esto puede ahorrar recursos del sistema, reducir las operaciones de la estación maestra, enviando menos información de control a cada estructura de control del canal. Con esta combinación, el control supervisado se puede utilizar, principalmente, para ajustar los parámetros de control en los algoritmos de control locales. El control supervisado también puede anular el control local cuando surjan condiciones anormales. La combinación de los dos sistemas proporciona un beneficio adicional, que es, el permite al control automático local proceder sin interrupción durante una falla de comunicación temporal entre la estación remota y la estación maestra [18].

d.3.4. Algoritmo de control.

Un algoritmo es un conjunto prescrito de reglas o procesos bien definidos para la solución de un problema en un número finito de pasos. En el control de los canales, los algoritmos son los procedimientos usados para implementar los diversos métodos de control en los canales. El algoritmo está diseñado para procesar la información de entrada de los sensores, realizar la función de comparador, y calcular la salida adecuada al actuador. La entrada es de cantidades que se observan, miden, o se predicen; la salida es una acción de control.

En el caso del control en los canales convencionales, un canalero desarrolla este trabajo, observando directamente los niveles del agua en los canales y manipulando las compuertas para que el sistema pueda cumplir con la demanda del líquido. Mediante la comparación del nivel del agua actual con el nivel deseado y el horario de riego en las parcelas pertenecientes al sistema, el canalero puede determinar la nueva posición de la compuerta. Si la demanda del líquido en el canal, es elevada, el canalero puede incrementar la apertura de las compuertas. La cantidad elevada será una función del error de nivel del agua y tal vez otros factores. La salida de este proceso es una nueva posición de la compuerta que se espera que logre el resultado deseado en el nivel del agua.

Por lo tanto, un algoritmo se basa en el proceso de razonamiento de los canaleros y se puede expresar en forma lógica y con ayuda de ecuaciones matemáticas. Existen muchos algoritmos que dan solución a muchos canales de riego, con distintas características y distintas soluciones. Los algoritmos más significativos en los sistemas de canales se verán a continuación.

d.3.4.1. Algoritmo básico.

El algoritmo básico consta de tres posiciones de control, en reposo, apertura y cierre de la compuerta. Este método se ha utilizado ampliamente en la regulación de niveles de agua en canales. El controlador en éste método puede ser de tipo electromecánico, pero también puede ser implementado utilizando un microprocesador que ejecute el algoritmo programado.

Generalmente, el sensor consiste en un flotador que indica los momentos de accionamiento de la compuerta. La unidad de comparación consiste en un arreglo simple de interruptores. Un interruptor está configurado para funcionar en el límite superior de la banda muerta o el intervalo de valores deseados; mientras tanto, el otro interruptor funcionará en el límite inferior de la banda muerta. Por lo general, el punto de referencia es la profundidad de diseño del canal para las condiciones máximas de flujo.

La banda muerta son los valores para los que el sistema se encuentra en condiciones normales. Los límites de bandas muertas son típicamente de 6 milímetros desde el punto de consigna. El elemento de control se compone de dos temporizadores que se activan por el aumento o disminución del nivel de agua en el canal. Los temporizadores energizan los relés encargados de accionar el actuador del motor para subir o bajar la compuerta durante sólo unos segundos y luego se proporciona un intervalo de tiempo de descanso entre los movimientos de la compuerta.

El funcionamiento del elemento de control determina la acción de operación y de descanso en las compuertas. Los temporizadores ajustables proporcionan la flexibilidad para seleccionar los intervalos de tiempo de ejecución y descanso para que coincida con los disturbios esperados. Sin embargo, en los sistemas de canales, el tiempo de retardo entre las acciones de control y los resultados, es muy grande. Por lo tanto, para lograr una correspondencia entre la oferta y la demanda del sistema de canales de forma continua, la secuencia de tiempo de ejecución y

descanso tendría que ajustarse continuamente para evitar que el sistema se vuelva inestable y se accione de manera continua.

Existen dispositivos anti-oscilaciones que impiden el accionamiento excesivo de la compuerta y reduce el efecto de amplificación sobre la perturbación, proporcionando así un sistema de control más estable [7].

El funcionamiento del algoritmo básico se puede ampliar mediante la adición de varios temporizadores de accionamiento y descanso. Estos temporizadores adicionales pueden ser operados para desviaciones de nivel de agua más grandes y más pequeños dependiendo de las características de los canales y la tasa de cambio en el nivel del agua con la posición de la compuerta. Las bandas muertas se utilizan para seleccionar cada conjunto diferente de temporizadores de ejecución y descanso. A medida que el nivel de agua se desvía de la consigna más allá de los límites de zona muerta superior o inferior, los temporizadores de etapas múltiples se toman su tiempo antes de tener que accionar a la compuerta de control. Una vez que el nivel del agua comienza a volver hacia el punto de ajuste, un mecanismo anti-oscilaciones desactiva los movimientos de la compuerta hasta que el nivel del agua alcance el límite de banda muerta contrario. El modo de control para este tipo de algoritmo se llama de tres posiciones con anti-oscilaciones.

La técnica de control básica se aplica a los sistemas de canales utilizando el método de control automático local. La aplicación de éste algoritmo es de mayor éxito en sistemas que tiene como método de operación el de profundidad constante aguas arriba.

d.3.4.2. Algoritmo de control supervisado.

Existen muchos algoritmos de control que se aplican especialmente a los sistemas de canales supervisados, los más conocidos son los algoritmos con filtros de nivel electrónicos offset, EL-FLO, por sus siglas en inglés (*electronic filter level offset*); y el algoritmo P-PR (*proportional plus proportional reset*), que está basado en el algoritmo de control EL-FLO, pero con la principal diferencia de que se aplica a sistemas de control aguas arriba [7].

d.3.4.2.1. Algoritmo EL-FLO.

El algoritmo con filtros de nivel electrónicos offset, ofrece una gran versatilidad y flexibilidad operativa para la regulación automática de caudal en sistemas de canales. En sistemas de canales grandes y rápidos, así como en canales pequeños y lentos, los cambios en la demanda del líquido se pueden regular sin problemas por el algoritmo de control EL-FLO. El algoritmo cuenta con un filtro electrónico que mantiene la estabilidad operacional del sistema. Además, cuenta con un control de restablecimiento que ayuda a eliminar el desplazamiento proporcional del nivel de agua excedente y mantiene un nivel de agua casi constante en las zonas de aguas abajo, cuando el canal se encuentra en estado estable.

El algoritmo de EL-FLO se aplica en sistemas de canales con control automático aguas abajo. El concepto de control aguas abajo requiere que el nivel del agua se mida en el extremo aguas abajo del canal en referencia a la compuerta de control. El algoritmo de control puede ser implementado ya sea con componentes electrónicos de tipo analógico o con un microprocesador que pueda ejecutar el algoritmo programado. Un sensor instalado aguas abajo en un canal, permite convertir el nivel de agua en una tensión eléctrica. Con la ayuda de otro sensor se verifica la posición de la compuerta. En sistemas más modernos se hace uso de sensores ultrasónicos para detectar el nivel de la compuerta y del agua en el canal. El valor de la tensión de nivel de agua pasa por un filtro electrónico y la salida del filtro se transmite a la estructura de control aguas arriba donde se encuentra el elemento de control [7].

El elemento de control realiza el cálculo proporcional y reajuste basado en la señal de entrada filtrada, que es el nivel de agua en el canal, la señal de entrada que es la posición de la compuerta, y el nivel de agua de consigna o de destino. El elemento de control también determina el accionamiento de los relees que operan el actuador del motor de la compuerta, elevándola o cerrándola. La posición de la compuerta se determina por el algoritmo y la señal de entrada del sensor de posición de la compuerta confirma que la compuerta se trasladó a la posición calculada.

El algoritmo EL-FLO requiere de un circuito de comunicación entre el extremo de aguas abajo del canal y la ubicación de verificación de la compuerta, aguas arriba. El circuito de comunicación se utiliza para transmitir el nivel de agua, aguas abajo, para el elemento de control. Esta técnica también requiere seguimiento de la posición de verificación de la compuerta. El punto de ajuste o el nivel de agua objetivo es el valor deseado en los canales para

satisfacer las necesidades del sistema. Se utiliza un margen de nivel como banda muerta, para evitar que la compuerta realice movimientos cortos y rápidos.

La selección de las constantes y parámetros adecuados de control, son esenciales para el funcionamiento correcto y estable del algoritmo EL-FLO. Estos parámetros deben ser seleccionados en base a los resultados de estudios de modelos matemáticos de cada canal. La selección mediante el uso de métodos de ensayo y error es difícil y por lo general resulta en un control no tan bueno.

La técnica de control EL-FLO, se pueden aplicar a sistemas de canales utilizando los métodos de control automático o supervisado. La aplicación del algoritmo EL-FLO es de mayor éxito en la aplicación del método de operación de profundidad constante aguas abajo [7].

d.3.4.2.2. El algoritmo P+PR.

El algoritmo P+PR se basa en el algoritmo de control EL-FLO. La principal diferencia entre el algoritmo P+PR y el algoritmo EL-FLO, es que el algoritmo P + PR se aplica al control automático de los sistemas de aguas arriba del canal. El concepto de control aguas arriba requiere que el nivel del agua se mida en la estructura de control de la compuerta que se encuentra aguas arriba. El algoritmo P+PR se puede implementar con cualquiera de los componentes electrónicos de tipo analógico o un microprocesador que pueda ejecutar el algoritmo programado. Con la ayuda de un sensor colocado delante de la compuerta, se obtiene el nivel de agua en el canal. El sensor convierte el nivel de agua a una tensión eléctrica. Con la ayuda de otro sensor se obtiene la posición de verificación de la compuerta. En sistemas modernos de canales se usa sensores ultrasónicos que no necesitan estar en contacto directo con los elementos que detecta.

El valor del nivel de agua, aguas arriba, es procesado por un filtro electrónico que elimina las olas en el líquido y otras perturbaciones cortas que pueden causar movimientos en la compuerta. La salida del filtro electrónico se utiliza como una entrada al elemento de control. El elemento de control realiza el cálculo proporcional basándose en la señal filtrada del nivel de agua, la posición de la compuerta, y el nivel de agua de consigna o deseado. El trabajo del elemento de control consiste en activar o desactivar los relés que operan el actuador del motor para elevar o bajar la compuerta. Los relés operan en base a los cálculos realizados por el elemento de

control. El actuador acciona el motor para mover la compuerta. La posición de la puerta deseada se determina por el algoritmo y la entrada del sensor de la posición de la compuerta confirma que la compuerta se trasladó a la posición calculada.

El punto de ajuste o nivel de agua objetivo, es el valor que se desea tenga el nivel de agua del canal. La banda muerta es un margen que tiene el valor consigna para ser tratado como un valor deseado, se utiliza para que la compuerta no realice movimientos cortos y rápidos.

La selección de los parámetros de control adecuados se debe realizar utilizando el modelado matemático del sistema de cada canal. La técnica de control P+PR se aplica a los sistemas de canales utilizando el control automático local o los métodos de control supervisado. La aplicación del algoritmo P+PR es de mayor éxito en la aplicación del método de operación de aguas arriba de profundidad constante [7].

d.3.5. Componentes del control automático.

La automatización del sistema de canales se puede agrupar en 4 lugares, la estación central o centro de control, las estaciones concentradoras, la estación remota o RTU, y los sensores y actuadores.

El centro de control es el lugar en donde se realiza la planeación del trabajo en el sistema, aquí se encuentra el director del canal, que tiene un registro de los regantes que pertenecen al canal y de sus necesidades de riego, con este registro, el director determina los horarios de riego y calcula las acciones a realizar.

En sistemas de canales muy grandes, se hace uso de estaciones concentradoras, que se encargan de hacer posible la comunicación entre el centro de control y las estaciones remotas. Muchas veces las estaciones concentradoras se encuentran incorporadas a las estaciones remotas, recibiendo y procesando la información directamente.

Las estaciones remotas o RTU, se encuentran en el área de trabajo, son las encargadas de hacer cumplir las órdenes del centro de control. Las estaciones remotas tienen principal interacción con los elementos actuadores y sensores, permitiendo su comunicación. La RTU recibe e interpreta comandos desde la estación maestra y ejecuta los comandos accionando el dispositivo

de estructura de control deseado. Además, supervisa el funcionamiento de las estructuras de control y envía esta información al centro de control [18].

Los sensores y actuadores son los elementos que permiten manipular el sistema de canales. Los sensores envían señales representativas de las condiciones actuales en el sistema, permiten conocer el nivel en el que se encuentra el agua en el canal, la apertura que tiene la compuerta, entre otras magnitudes. Los actuadores realizan las tareas de control para que el sistema trabaje de forma normal y cubra con la demanda del líquido de los regantes. Los actuadores activan las compuertas para que cambien su apertura y así cambiar el flujo del líquido en el canal.

d.3.5.1. Centro de control.

El sistema de control supervisado consiste en una estación maestra, RTUs y un sistema de comunicación. La RTU supervisa a las estructuras de control del canal, como lo son las compuertas, y envían la información monitorizada a la estación maestra a través del sistema de comunicación.

El centro de control se encuentra ubicado en los lugares poblados o cercanos a ellos, desde aquí, el director del canal realiza toda la planeación del sistema, determina la cantidad de agua que el sistema debe suministrar, realiza labores de organización, entre otros. Para ello el centro de control debe contar con los siguientes elementos [18]:

- Computadora.
- Teclado.
- Unidades de almacenamiento.
- Interfaz de canal de comunicación.
- Unidad de visualización de vídeo.
- Software (programas de ordenador).

Las unidades vídeo se utiliza para presentar la información al operador en la estación maestra. Las unidades de visualización de vídeo proporcionan al operador una gran cantidad de datos de todo el sistema de canales desplegadas en pantallas. Las pantallas de visualización también se utilizan que el operador pueda realizar procedimientos de control a varios dispositivos en el sistema. La unidad de visualización de vídeo puede presentar información al operador a través

de las listas, o el uso de símbolos gráficos y tablas. La estación maestra puede incluir dispositivos para la impresión de los registros de eventos y alarmas o para el almacenamiento de los mismos.

El método de control supervisado ofrece el control del sistema de canales desde una ubicación central. Esto permite que un operador supervise el funcionamiento de un sistema de canales entero desde la estación maestra. El operador puede determinar las condiciones del sistema de canales y hacer ajustes a las estructuras de control a través de la RTU utilizando la red de comunicación. El operador es informado de las condiciones de alarma mediante el control de los datos de la RTU y la red de comunicación [18].

Cuando el operador está involucrado en todas las decisiones relativas al control del canal, el sistema de canales está en control manual supervisado. El control manual supervisado puede ser relativamente simple y razonable en su costo. Cuando el equipo RTU está controlando automáticamente una estructura de control del canal, con una intervención mínima del operador, el sistema de canales está en control automático supervisado, en este caso, la RTU determina automáticamente la operación a realizar y el director del canal lo supervisa. Los sistemas de control supervisados son más complejos, requieren una programación especial y son más caros.

d.3.5.2. Estaciones remotas.

Un sistema de automatización puede utilizar un equipo de control automático local o equipos de control supervisados. El equipo de control automático local proporciona el control local de una estructura de control, con sus comunicaciones limitadas comunicar la presencia de alarmas y para lectura remota de algunas mediciones del sensor. Equipo automático local debe ser supervisado periódicamente por un canalero para determinar la condición del equipo y su buen funcionamiento. Las fallas se informan mediante el sistema de alarmas y esta información es utilizada por el director del canal, que se encuentra en el centro de control, que informa a los canaleros de su ubicación para que le den solución al problema.

Por lo general, un equipo automático local está montado a partir de componentes electrónicos como lo son los controladores lógicos programables. Este equipo puede ejecutar los algoritmos deseados y realizar los cálculos lógicos necesarios para el control automático. El equipo típico de control del canal se compone de [7]:

- Controlador lógico programable.
- Interfaz HMI.
- Equipos de entrada y salida, analógicos y digitales.
- Sistemas de comunicación.
- Sistemas de energía independiente.
- Algoritmos de control y software de comunicación en general.

Estos controladores son fáciles de mantener y programar. Un algoritmo puede ser fácilmente seleccionado para el cumplimiento de la operación del canal deseado. El sistema operativo de software por lo general se almacena en la memoria no destructiva del controlador lógico. El contenido de este tipo de memoria no se borrarán durante un corte eléctrico o cuando el controlador esté apagado. Además, las estaciones remotas deben contar con sistemas de energía independiente, que permita su funcionamiento normal en caso de fallas en el suministro eléctrico convencional. Los datos en tiempo real, como los niveles de agua, la posición de las compuertas, las constantes del algoritmo de control, el nivel consigna que se debe mantener, entre otros, se almacenan en la memoria del controlador lógico para que en caso de pérdida de comunicación con el centro de control, el sistema pueda trabajar de forma normal con los últimos valores ingresados.

Se debe tener cuidado de colocar las estaciones remotas en lugares seguros, con protecciones resistentes y no muy llamativos, que puedan proteger a los equipos de las inclemencias del clima y de acciones de vandalismo.

d.3.5.3. Sensores.

Los sistemas automatizados de canal utilizan sensores en las estructuras de control para medir los niveles de agua, las corrientes y posiciones de la compuerta. Muchos tipos diferentes de sensores están disponibles para cada tipo de medición; es importante seleccionar los sensores que son los más adecuados para el funcionamiento de un sistema de canales. La selección del sensor requiere la consideración de varios factores [7]:

- Precisión
- Confiabilidad
- Requisitos de calibración

- Rango de temperatura.
- Resistencia a condiciones atmosféricas adversas.
- Disponibilidad.
- Costo.

La operación exitosa de los sistemas de canales automatizados depende en gran medida del rendimiento de los sensores. Los sensores pueden funcionar mal y provocar que el sistema de control automático realice operaciones indeseables y catastróficas en el canal. Se debe tener especial cuidado con las lecturas anormales del sensor, debido a la naturaleza del líquido, esto puede llegar a provocar medidas de control inadecuadas.

Los sensores pueden ser clasificados como analógicos o digitales. Esta clasificación se basa en la señal de salida del sensor. Si la señal de salida del sensor es un voltaje, corriente o frecuencia, que representa el valor del nivel medido, el sensor es analógico. Si la salida del sensor está representada por dígitos binarios o pulsos de corriente, se considera que es un sensor digital.

Los sensores digitales son más precisos y menos sensible a los errores inducidos eléctricamente debido a que la salida está en un formato binario y se puede convertir fácilmente a unidades de ingeniería de forma automática en el equipo de control. Sin embargo, los sensores digitales son más caros, más complejo, más difícil de reparar, y muchas veces más propensos fallos.

Los sensores analógicos son menos costosos, más fáciles de mantener y reparar, y más fácil de calibrar. Generalmente, los sensores analógicos son más fiables durante largos períodos de tiempo. La señal de salida es una señal analógica eléctrica que es susceptible a la interferencia y la degradación antes de que llegue el controlador automático. El controlador encargado del sensor analógico recibe la señal y realiza un escalado para representar los valores de la señal obtenida con los valores de medida verdaderos. Los errores de transmisión pueden reducirse a un mínimo tomando las precauciones adecuadas en la instalación y el cableado.

d.3.5.4. Sistemas de comunicación.

La selección de un sistema de comunicación para la automatización de sistemas de canales requiere la consideración de algunos criterios, entre ellos tenemos [18]:

- El método de operación en el sistema del canal.

- La localización de las instalaciones que van a ser automatizados.
- Requisitos de confiabilidad de la operación de sistema de canales.
- El costo del sistema de comunicación.
- Los sistemas de comunicación ya existentes en el sistema.

Cada criterio debe ser evaluado antes de que el sistema de comunicación sea seleccionado. El diseño, la instalación, y la calidad del mantenimiento de los equipos de comunicación determinarán el éxito general del proyecto de automatización del canal.

Existen varios tipos de sistemas de comunicación disponibles y adecuados para proyectos de automatización de canales, entre ellos tenemos [7]:

- Comunicación de un solo canal de radio VHF (30 a 300 MHz)
- Comunicación de un solo canal de radio UHF (300-3000 MHz)
- Radioenlaces a microondas (3 a 30 GHz)
- Cable de cobre (4 a 100 pares)
- Cable de fibra óptica (dúplex)

La selección del tipo de sistema de comunicación que mejor satisfaga las necesidades del proyecto de automatización del canal depende de numerosas características, entre las más importantes están las siguientes [7]:

- El método de control que se utilizará.
- La ubicación de la estación maestra y distancia a las RTUs.
- Número de controladores automáticos locales o RTU.
- Cantidad de datos que enviará cada RTU y su ubicación.
- Tiempo requerido de transmisión y duración de la transmisión.
- Requisitos de la salida de control del controlador y del RTU.
- Requisitos de confiabilidad del sistema del Canal.
- La configuración del sistema del Canal.

Cada uno de los elementos anteriores debe de ser evaluados con las características particulares del sistema antes de que el mejor sistema de comunicación se determine. Antes de seleccionar el tipo de sistema de comunicación, se debe seleccionar el método de control. A veces, un sistema de comunicación existente está disponible y se puede utilizar para las comunicaciones de automatización canal, lo que implica un ahorro considerable de inversión.

Por lo general, el método de comunicación más versátil para proyectos de automatización de canales, es la utilización de cable multipar de cobre, que se lo entierra directamente en el suelo, paralelo a los canales del sistema. La seguridad de la transmisión, la flexibilidad de la configuración del sistema, el costo de instalación y mantenimiento son características que hacen que este tipo de sistema de comunicación sea el más deseable para proyectos de automatización del sistema de canal. El principal inconveniente de este sistema viene acompañado de las distancias que se debe cubrir en algunos sistemas de canales [18].

d.4. CAPÍTULO IV: SISTEMAS DE RIEGO CAMPANA-MALACATOS

d.4.1. Introducción.

El sistema de riego Campana - Malacatos se ubica al sur oriente de la ciudad de Loja y hacia la parte norte de la población de Malacatos. Es una importante área de producción por sus condiciones agroclimáticas. La principal actividad es la agricultura, que genera ingresos para satisfacer en parte las principales necesidades de los pequeños agricultores asentados en esta área. El sistema de riego Campana - Malacatos ha ayudado a los agricultores a aprovechar de mejor forma las áreas de cultivo, pudiendo incrementar su producción.

El agua es fundamental para la producción de cultivos, por lo que se requiere un uso oportuno y en cantidades suficientes del agua disponible para lograr una producción eficiente y de altos rendimientos. El recurso del agua ha sido una de las necesidades más apremiantes de los agricultores asentados en las áreas rurales de la provincia de Loja y mucho más tratándose de zonas tan importantes como la parroquia Malacatos, debiendo cuidar este recurso para su aprovechamiento racional.

El sistema de riego cuenta con una comunidad regante de 900 usuarios aproximadamente, distribuidos en tres zonas, que en total llegan a cubrir una superficie total de 844,28 hectáreas, de las cuales 721,97 hectáreas son superficies regables. La superficie que actualmente se encuentra en actividad agrícola y hace uso del sistema de riego, llega a 645 hectáreas [19].

La automatización en el sistema de riego Campana-Malacatos permitirá que se entregue el recurso hídrico de forma más eficiente y rápida, ahorrando grandes cantidades de agua y entregándolo de acuerdo a las necesidades y demandas de la Comunidad Regante.

d.4.2. Descripción del sistema de riego.

El sistema de riego Campana Malacatos es una obra de infraestructura hidráulica que se empezó a construir en el año de 1978 y se puso en funcionamiento en el año de 1993, teniendo varias

adecuaciones hasta la actualidad. Su principal fuente de captación es el río Campana que se encuentra a 1753 metros sobre el nivel del mar [20].

El sistema de riego cuenta con un caudal de 600 litros por segundo, medidos en la bocatoma. La superficie total perteneciente al sistema de riego es de 844,28 hectáreas, de las cuales, la superficie regable es de 721,97 hectáreas. Actualmente se encuentran 645 hectáreas entre zonas regadas y cultivadas [20].

El sistema de riego está formado por un canal principal de 12,76 km de longitud, y canales secundarios de 41,9 km de longitud.



Figura 24. Canal principal del sistema de riego Campana Malacatos. [Autoría propia]

El canal principal cuenta con 12,26 km de canal revestido de sección rectangular, la sección transversal del canal es de 1.10 metros de ancho x 0.90 metros de profundidad, construido de hormigón simple. Además, cuenta con 5 túneles que suman una longitud de 1,15 km, 17 alcantarillas, 78 tomas directas, 25 derivaciones, 3 reservorios, 62 cajas de válvula o de deriva. 4 aliviaderos, entre otros elementos [19].

El canal secundario que es donde ya se realiza la distribución del agua a las distintas parcelas que forman el sistema de riego, cuenta con 150 cajas de distribución.

d.4.2.1. Ubicación geográfica.

El sistema de riego Campana Malacatos se encuentra ubicado en la parroquia Malacatos, cantón y provincia de Loja, a 22 km de la ciudad de Loja, se asienta en la región interandina en el sur oriente de la provincia de Loja en la parte alta de la cuenca Catamayo – Chira. El sistema de riego Campana - Malacatos ha ayudado a los agricultores de la zona a aprovechar de mejor forma las áreas de cultivo mejorando su producción [20].



Figura 25. Sistema de Riego Campana-Malacatos. [20]

Los límites del sistema de riego comprenden los siguientes [21]:

- **Al norte** con el río Campana y la cota del canal.
- **Al sur** con la población de Malacatos.

- **Al este** con el sector las Acequias, la Granja y el Moquillo; y
- **Al oeste** con la quebrada Ceibopamba.

La fuente de captación del sistema es el Río Campana y la bocatoma del sistema se encuentra en las siguientes coordenadas [20]:

- **Latitud:** 9539501.00 m
- **Longitud:** 699707.00 m
- **Altitud:** 1 753 m.s.n.m.

El canal principal tiene su origen en la bocatoma del sistema de riego, por lo que son las mismas coordenadas anteriores. La parte final del canal principal del sistema de riego se encuentra en las siguientes coordenadas [20]:

- **Latitud:** 9536484.00 m
- **Longitud:** 693582.00 m
- **Altitud:** 1 710 m.s.n.m.

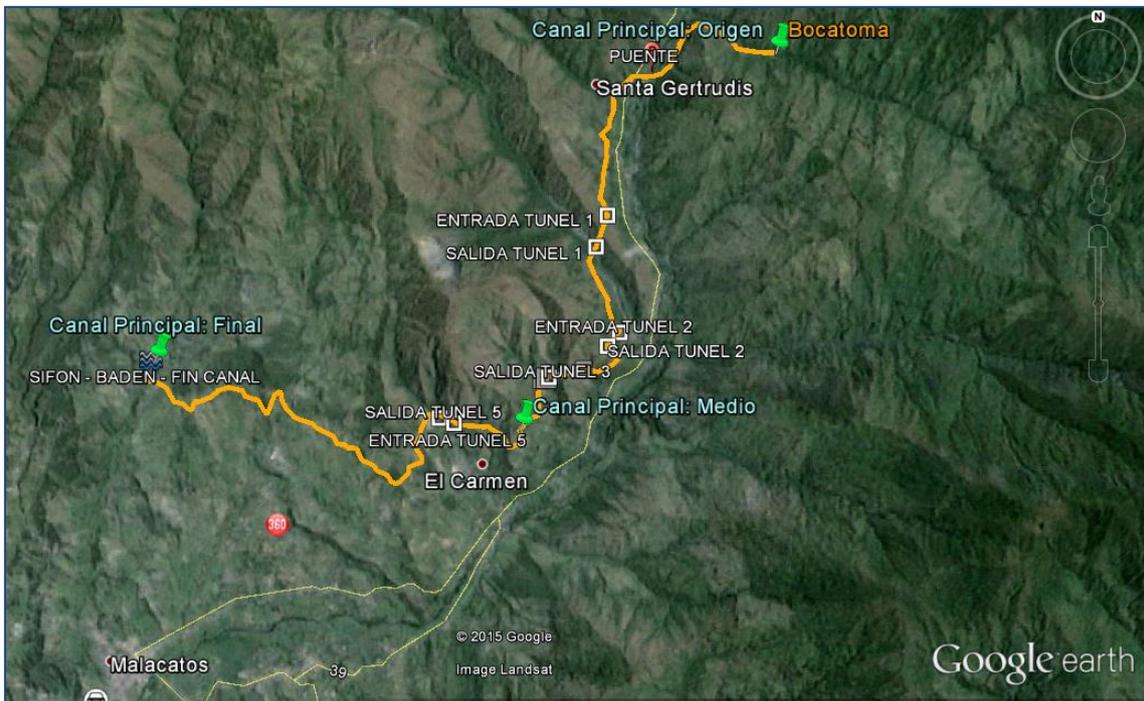


Figura 26. Ubicación geográfica del canal principal del sistema Campana-Malacatos. [Autoría propia]

d.4.2.2. Condiciones climáticas.

El sistema de riego Campana–Malacatos cuenta con tres niveles de altitud, en los niveles más bajos y medios presentan un clima temperado con una temperatura media anual de 18°C y en los niveles altos cuenta con un clima sub templado con una temperatura media anual de 14°C [21].

La precipitación media anual oscila entre los 850 y 1500 mm, en la zona baja la mayor pluviosidad corresponden a los meses de diciembre a abril y en la zona alta la pluviosidad es uniforme a lo largo de todo el año.

d.4.2.3. Comunidad regante.

La comunidad regante del sistema de riego cuenta con aproximadamente 900 usuarios que se agrupan en tres zonas [19]:

- **Zona 1:** Granillos, Santa Gertrudis, El Porvenir y Nangora.
- **Zona 2:** Chorrillos, El Carmen, El Sauce, Belen y San José.
- **Zona 3:** El Molle, Loma Redonda, San Francisco, Calera, Sahuaynuma, Santa Ana, Ceibopamba, La Trinidad y El Pedregal.

El sistema de riego brinda una dotación de agua por usuario de 0,80 litros por segundos por hectárea.

Los métodos de riego que se utilizan dentro de las parcelas son los métodos de riego por gravedad, por aspersión y en menor cantidad el método por goteo.

Entre los cultivos que se dan en la zona están la caña, el guineo, el maíz, el café, el fréjol, el tomate, el pepino, el pimiento, la achira, la yuca, entre otros.

En el caso de la pertenencia de las tierras por parte de los miembros de la comunidad regante en la zona se observa que el 78,16% hace uso del terreno propio para realizar la actividad agrícola, el 14,93% lo realiza a medias y el 6,90% lo realiza con terrenos arrendados, y se distribuyen en áreas menores a 1 ha el 52,87%, entre 1 a 4 ha 42,53%, y de 5 a 10 ha 4,60% [20].

En el nivel de educación, los pobladores pertenecientes al sistema de riego, presentan valores significativos, llegando a un 74,71% de los miembros que cuenta con un nivel de educación primario, el 13,79% al secundario, el 5,75% al superior y el 5,75% a ningún nivel de educación [21].

d.4.2.3.1. Organización de la junta de riego.

La Empresa Pública de Riego y Drenaje del Sur, RIDRENSUR EP, perteneciente al Gobierno Provincial de Loja, es el encargado del manejo y administración del sistema. El nombre oficial del sistema de riego es “Sistema de Riego Campana–Malacatos” y la junta de riego lleva el mismo nombre.



Figura 27. Comunidad Regante del Sistema de riego Campana Malacatos [20]

La junta de riego que cuenta con cerca de 900 miembros, tiene como presidente al señor Segundo Granda Avendaño perteneciente al sector de Belén. La secretaria de la junta es la señora Yolanda Coronel. La empresa RIDRENSUR EP, señala que los usuarios, desde el 2007, no realizan el pago tarifario del riego al estado, aduciendo que no reciben el servicio de riego de una forma ágil y oportuna. Pero, los usuarios aportan con 20 dólares por hectárea al año, para la administración, operación y mantenimiento del sistema [19].

d.4.2.3.2. Producción agrícola.

Los cultivos que predominan en la zona y que mayor demanda tienen en el mercado, siendo los más comunes o que se dan en mayor producción, son: la caña, hortalizas (tomate, pimiento, pepino, melón, lechuga, acelga, espinaca, zanahoria, rábano y remolacha), frutales (cítricos, papaya, aguacate y babaco), maíz, fréjol y pastos.

Tabla 1. Producción del Sistema de Riego Campana-Malacatos [19].

CULTIVO	ÁREA ESTIMADA (ha)	PORCENTAJE	RENDIMIENTO POR ha.
CAÑA (PANELA)	210,40	32,62 %	3.348,75
GUINEO(RACIMOS)*	45,25	7,02 %	62.328,00
CAFÉ**	15,56	2,41 %	505,40
MAIZ (DURO)*	51,40	7,97 %	7.472,16
FRÉJOL*	24,95	3,87 %	1.656,60
TOMATE (CAJAS x50 LBS.)	7,62	1,18 %	25.236,00
PEPINO (UNIDADES)	3,00	0,47 %	1.197,00
PIMIENTO (UNIDADES)	4,91	0,76 %	1.764,00
ACHIRA	5,39	0,84 %	431.200,00
YUCA*	21,90	3,40 %	4.853,20
FLORES(*)	7,96	1,23 %	
PASTO****	226,16	35,06 %	
FRUTALES***	20,50	3,18 %	
Total:	645,00	100 %	

Los cultivos como el guineo, el maíz y la yuca se encuentran dentro de los cultivos llamados seguridad alimentaria. En el caso del café, los datos se refieren al café ya despulpado. Las cifras de los frutales son producto del rendimiento promedio de tres años. Para el caso del pasto, este se refiere al pasto natural sin mantenimiento. La comercialización de cada cultivo se lo realiza independientemente y de manera directa por los propietarios de las zonas de cultivo, por lo que en el caso de las flores, pasto y frutales, no se tiene el dato aproximado de rendimiento por hectárea.

d.4.2.3.3. Tipos de sistemas de riego en las parcelas.

Los sistemas de riego dentro de las parcelas más populares, son los sistemas de riego por gravedad, aspersión y en menor medida por goteo. De los terrenos destinados para la agricultura los métodos de riego utilizados en el sistema son el riego por gravedad con un 62,06%, el método por aspersión con el 13,79% y ningún método el 24,14% [21] .

Al ser el método de riego por gravedad el más usado, se tiene mayor demanda de agua para poder cubrir los cultivos. En cambio, el sistema por goteo que hace uso de menos cantidad de agua, no es muy utilizado dentro de la comunidad regante del sistema. También se presentan, en menor medida, sistemas de bombeo que hacen llegar el agua a las parcelas, pero por sus costos de implementación, este sistema no es muy popular.

d.4.2.4. Sistema de canales.

El sistema de riego Campana-Malacatos se alimenta de la cuenca Catamayo-Chira, de la cual nace y se forma la microcuenca del Río Campana, que da servicio a cerca de 900 usuarios y llega a regar un total de 645 hectáreas aproximadamente [19].

El caudal con el que cuenta la bocatoma del sistema es de 600 litros por segundo y el caudal concedido para el sistema es de 436 litros por segundo, que permite dotar 0,80 litros por segundo a cada hectárea.

El sistema cuenta con un canal principal que se conecta con la bocatoma y transporta el recurso hídrico a los ramales de los canales secundarios para poder repartirlos en las zonas de cultivo. El canal principal cuenta con 12,76 kilómetros de longitud, mientras que el canal secundario tiene una longitud de 41,9 kilómetros [20].

d.4.2.4.1. Fuente de captación y microcuenca.

El sistema hídrico del que nace el sistema de riego Campana-Malacatos, es la cuenca Catamayo-Chira, y la fuente de captación principal del sistema es la microcuenca formada por el Río

Campana. La microcuenca del canal presenta un área total de 33,94 kilómetros cuadrados y un perímetro de 28,15 km y la elevación media de la cuenca es de 2704 metros sobre el nivel del mar [21].

El uso del suelo de la microcuenca del río Campana está dado por: bosque denso con la mayor área de 1249,62 ha correspondiendo al 36,03%, bosque chaparro con 621,86 ha que representa el 17,93%, complejo pastizal-matorral con 393,70 ha que equivale al 11,35%, complejo bosque abierto-matorral con 369,24 ha que representa al 10,65%, pastizal con 341,24 ha que equivale al 9,84%, complejo pastizal-bosque denso con 166,29 ha, que corresponde al 4,79%, páramo arbustivo con 109,90 ha, que equivale al 3,17%, páramo herbáceo bajo con 85,23 ha, que representa al 2,46%, matorral con 84,78 ha, que corresponde al 2,44%, matorral denso arbolado con 16,68 ha que equivale al 0,48%, complejo pastizal-cultivo con 15,32 ha, que representa al 0,44%, y con un área menor tenemos al bosque abierto con 0,54 ha que equivale al 0,02% [20].



Figura 28. Bocatoma del sistema de riego Campana-Malacatos. [21]

La fuente captación del sistema es el Río Campana, que tiene un caudal de 600 litros por segundo. La bocatoma del sistema, que de igual forma es el inicio del canal principal, se encuentra en las siguientes coordenadas UTM [19]:

- **Latitud:** 9539501.00 m.
- **Longitud:** 699707.00 m.
- **Altitud:** 1753 metros sobre el nivel del mar.

reservorios, 62 cajas de válvula o de derivación, 4 aliviaderos, entre otros elementos. También se presentan lugares en donde se hace uso de tubería, llegando a cubrir una longitud de 300 metros aproximadamente [19].

Las coordenadas de inicio del canal principal, son las mismas en las que se encuentra la bocatoma del sistema. Las coordenadas UTM del inicio, un punto medio y el final del canal principal son [19]:

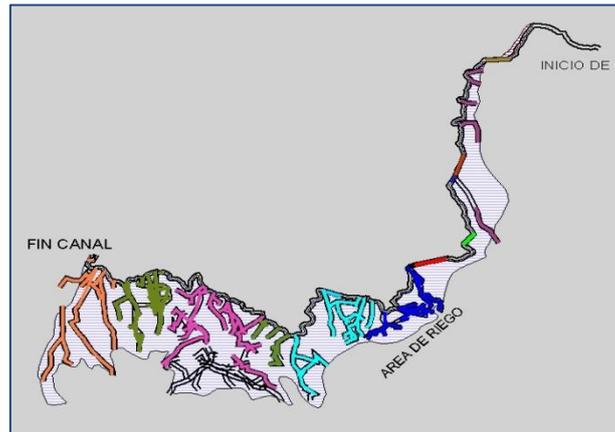


Figura 31. Esquema del sistema riego Campana-Malacatos [20].

Inicio del canal principal:

- **Latitud:** 9539501.00 m.
- **Longitud:** 699707.00 m.
- **Altitud:** 1753 metros sobre el nivel del mar.

Punto medio en el canal principal:

- **Latitud:** 9535807.00 m.
- **Longitud:** 697194.00 m.
- **Altitud:** 1722 metros sobre el nivel del mar.

Final del canal principal:

- **Latitud:** 9538484.00 m.
- **Longitud:** 693582.00 m.
- **Altitud:** 1710 metros sobre el nivel del mar.

d.4.2.4.3. Red de distribución.

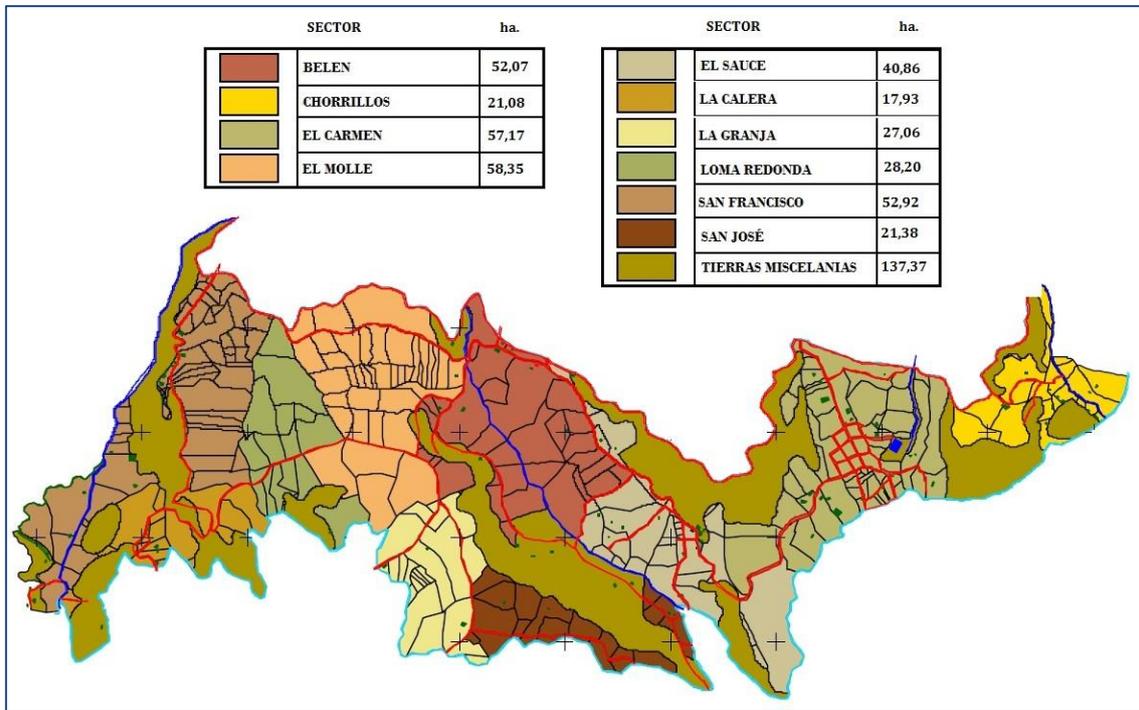


Figura 32. Red de Distribución del Sistema de Riego Campana-Malacatos [20].

El sistema de riego está organizado por 3 zonas principales, pero estas a su vez, se contienen 11 sectores de riego, aproximadamente, que son: Belén, con un área de 52,07 ha, que equivale al 10,16%, Chorrillos con 21,08 ha que representa el 4,12%, El Carmen con un área de 57,17 ha que corresponde el 11,16%, El Molle con 58,35 ha que equivale al 11,00%, El Sauce con un área de 40,86 ha que representa el 7,98%, La Calera con 17,93 ha, que corresponde el 3,50%, La Granja con un área de 27,06 ha, que equivale al 5,28%, Loma Redonda con 28,20 ha, que representa el 5,50%, San Francisco con 52,92 ha que corresponde al 10,33%, San José con un área de 21,38 ha, que equivale al 4,17% y, Tierras Miscelánias con un área de 137,37 ha, que representa el 26,81% [21].

d.5. CAPÍTULO V: PROPUESTA DE IMPLEMENTACIÓN

d.5.1. Introducción.

De forma general, la propuesta de implementación se encontrará dividida en dos sectores, que son las Estaciones Remotas y la Estación Central. Pero, estos sistemas se encuentran íntimamente relacionados, teniendo sistemas compartidos. El sistema de automatización de canal de riego cuenta con distintos sistemas que se necesitan y se interrelacionan, entre los principales sistemas que se va a presentar están los sistemas de comunicación, los sistemas SCADA, la programación del Controlador Lógico Programable, el sistema de energía auxiliar con paneles solares, el control de los sensores de nivel, las maniobras de control para el motor de la compuerta, entre otros.

Para el presente capítulo, primero se describirá el sistema en general, se esquematizará y se señalará a grandes rasgos cómo será su funcionamiento. Después, se presentará los lugares geográficos escogidos para realizar la Estación Central y las Estaciones Remotas, se utilizará el software de Google Earth para obtener las coordenadas exactas de la ubicación de cada elemento.

Luego se presentará la programación y la función del PLC, su marca, características, forma de conexión, etc. Otro elemento importante en la propuesta del sistema automatizado son los sensores ultrasónicos de nivel, que se comunicarán directamente con el PLC. El siguiente elemento a tratar es la compuerta de control, que deberá contar con las adecuaciones y medidas necesarias para la implementación en el canal principal de riego. La compuerta tendrá acoplado un motor que se accionará en dependencia de la programación del PLC. Luego de presentar estos elementos, se presentará los sistemas de energía auxiliar y los sistemas de comunicación, se presentará los equipos que escogidos, se presentará el esquema de conexión; además, el sistema de comunicación se simulará en el software Radio Mobile y Google Earth. Por último se mostrará el SCADA escogido para la implementación del sistema.

d.5.2. Sistema general.

El sistema de automatización para el control del canal de riego Campana Malcatos, contará con una Estación Centra y dos Estaciones Remotas. La Estación Central será la encargada de controlar y monitorear todo el sistema, desde aquí se realizarán las acciones gerenciales del canal. Para la automatización de un tramo del sistema, se colocará dos Estaciones Remotas, RTU, que serán las encargadas de recibir y ejecutar las órdenes de la Estación Central.

En la Estación Central se contará con elementos de oficina y sobretodo los elementos de control y comunicación del sistema. El director del canal será el encargado de programar las jornadas de riego según las necesidades de la Comunidad Regante.

En las Estaciones Remotas se contará con los elementos automatizados de control del canal, junto con los sistemas de comunicación. En este lugar se ejecutarán las órdenes de control que disponga el director del canal. Las RTU contarán con elementos diversos que permitan controlar y monitorear los niveles de agua en el canal.

En el caso de presentarse fallas en los suministros energéticos, necesarios en las Estaciones Remotas, se activará el sistema de energía auxiliar, con paneles solares, que permitirá continuar con el control normal del canal.

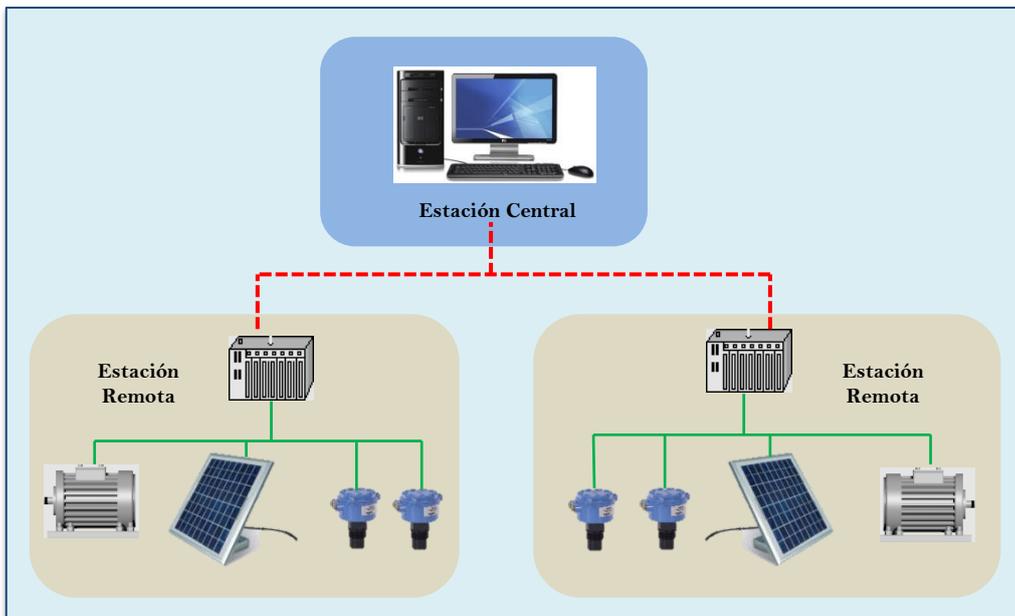


Figura 33. Esquema general del sistema de control del canal. [Autoría propia]

Se tendrá una constante comunicación entre la Estación Central y las Estaciones Remotas, realizando el monitoreo de las variables en el sistema. Para ello, se hará uso de un sistema de comunicación de radioenlaces con antenas directivas.

Cada Estación Remota contará con un controlador lógico programable que gobernará la compuerta de control asignada en dependencia de la programación y las órdenes enviadas por el director del canal. La RTU deberá contar con cierto grado de autonomía, para que pueda seguir realizando el control de las compuertas aún si ocurriesen fallos de comunicación con la Estación Central.

El control del canal desde la Estación Central, se lo realizará con el Scada Vijeo Citect, de Schneider. Desde aquí, se podrá monitorizar el estado del canal y las compuertas de control. El director del canal podrá activar y desactivar las compuertas y la alimentación eléctrica auxiliar, así como recibir información de los mismos.

d.5.3. Estación remota, RTU.

Las RTU serán las encargadas de ejecutar las acciones de control que disponga el director del canal, además, enviará las mediciones del canal para su monitoreo y la toma de decisiones. Las Estaciones Remotas estarán ubicadas en el canal principal, relativamente cerca del poblado “El Carme”, en las siguientes coordenadas:

Compuerta 1:

- 17 M
- 697090.00 m E
- 9535640.00 m S

Compuerta 2:

- 17 M
- 696225.00 m E
- 9535552.00 m S

Los elementos de control contarán con compuertas motorizadas que se accionarán en dependencia de las órdenes del controlador lógico programable o PLC, que también, se encargará de recibir las señales de los sensores y transmitir las, a través del sistema de comunicación, a la Estación Central. El sistema de comunicación principal, se lo realizará por medio de radioenlaces. También, contará con sistemas de energía auxiliar formado por paneles solares, que entrarán en acción en caso de fallas con el suministro eléctrico convencional.

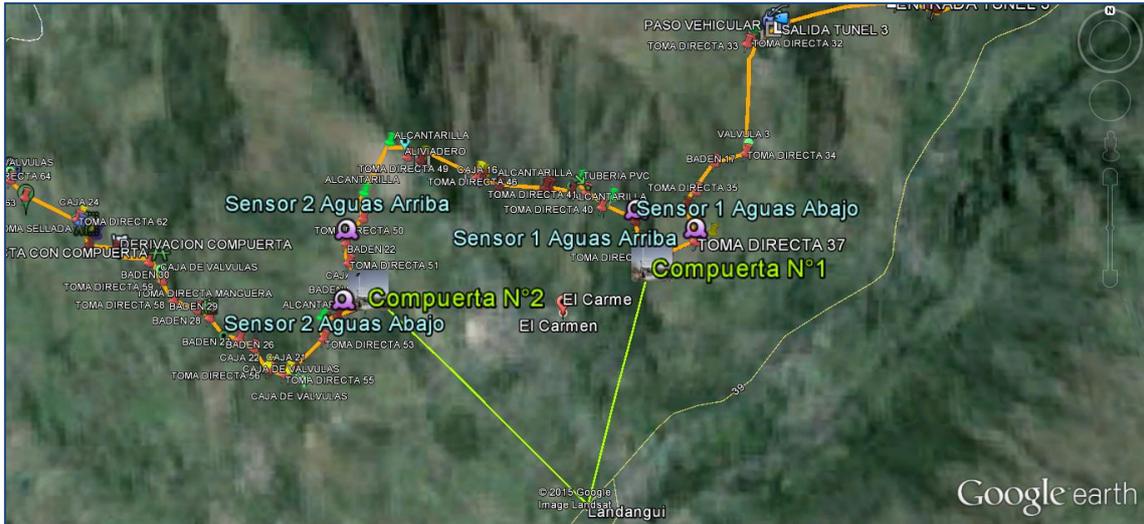


Figura 34. Ubicación de las Estaciones Remotas en el canal principal. [Autoría propia]

Las RTU deberán contar con 3 estructuras principales, la compuerta de control, el armario de protección para el PLC y la antena de comunicación, siendo el PLC el punto central de control, de donde salen y llegan todas las conexiones de los distintos elementos.

d.5.3.1. Controlador lógico programable, PLC.

Cada Estación Remota contará con un controlador lógico programable que será el encargado de gobernar cada uno de sus elementos, como lo son: los sistemas de paneles solares, sensores de nivel, compuertas motorizadas y sistema de comunicación.

El PLC recibirá las señales de los sensores de nivel y determinará la acción de control para cumplir con las exigencias de los regantes. Por medio del sistema de comunicación se recibirá los valores a los que el nivel del agua debe alcanzar en el canal, de igual forma por este medio, se enviarán los valores que se recojan de los sensores del canal; de esta forma se tendrá un monitoreo del nivel del agua en el canal y de la posición de la compuerta de control.

Además, el PLC accionará el suministro de energía auxiliar por paneles solares en el caso de haber una falla en el suministro de energía convencional.

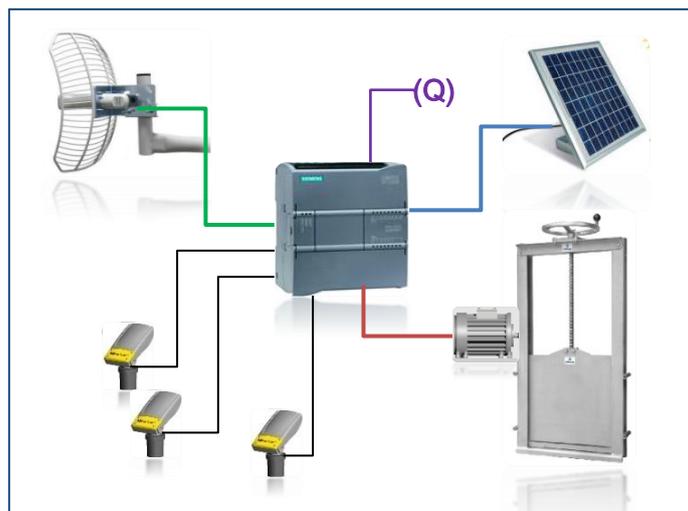


Figura 35. Esquema de funciones del controlador lógico programable, PLC. [Autoría propia]

El PLC escogido es el SIMATIC S7 1200 de Siemens y la programación se la realizó en el TIA Portal STEP 7. El control del nivel del agua en el canal principal se lo realizará monitoreando su nivel con sensores ultrasónicos que se conectarán a las entradas del PLC. La apertura de la compuerta la determinará el director del canal, accionando el motor en una u otra dirección.

La comunicación del PLC con la Estación Central se la realizará por medio de radioenlaces, con ayuda de antenas directivas, configuradas de tal forma que sean un puente de comunicación entre las dos. La conexión se la realizará utilizando los puertos de red Ethernet en el PLC. Además, se agregarán señales de emergencia para informar que se ha producido algún desperfecto en la estación.

d.5.3.1.1. Programación del PLC.

El PLC escogido será de la serie 1212C AC/DC/Rly, que trabajará con voltaje alterno de 120/240 V AC. El PLC cuenta con 8 entradas digitales de 24 V DC, 6 salidas digitales de relé y dos entradas analógicas de voltaje. En el sistema, cada Estación Remota manejará las señales de tres sensores ultrasónicos con señales de corriente de 4-20 mA., por lo que se hace necesario agregar un módulo de entradas/salidas. El módulo escogido es el SM 1231 AI4, que cuenta con 4 entradas analógicas configurables de tensión y corriente.

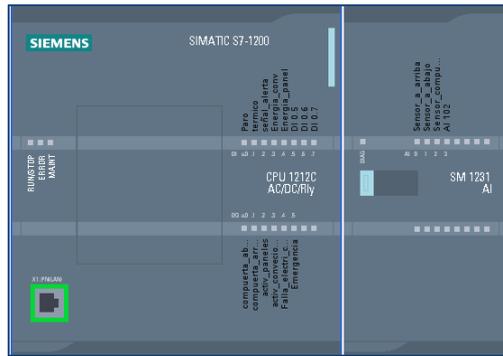


Figura 36. PLC Siemens S7 1200, programación en software TIA Portal STEP 7. [Autoría propia]

Iniciaremos la programación con una variable llamada “inicio”, que será la variable que indicará que el programa habrá iniciado. Esta variable cambiará de estado al ocurrir algún evento inesperado.

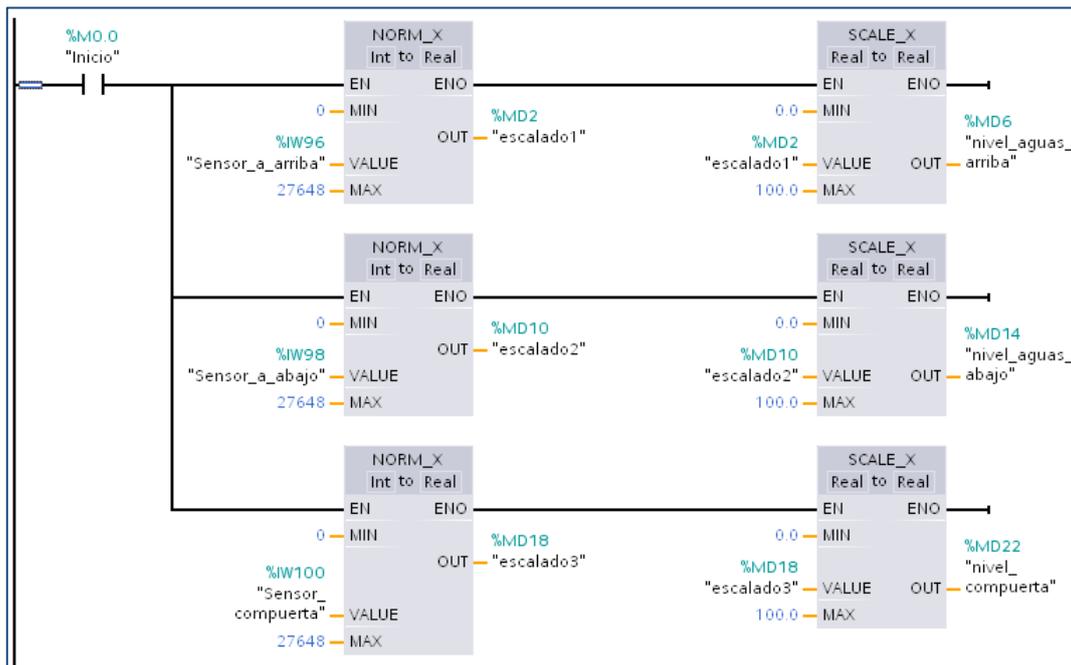


Figura 37. Escalado de la señal de nivel. [Autoría propia]

Las variables “Sensor_a_arriba”, “Sensor_a_abajo” y “Sensor_compuerta”, son las entradas analógica integrada del PLC, que será la señal proveniente de los sensores de nivel, cada señal

tendrá un valor de 4 a 20 mA, en dependencia del valor censado. Las señales serán escaladas a valores de 0 a 100, que representarán valores de entre 0 y 100 centímetros de nivel. Los valores resultantes se guardarán en las variables “nivel_aguas_arriba”, “nivel_aguas_abajo” y “nivel_compuerta”.

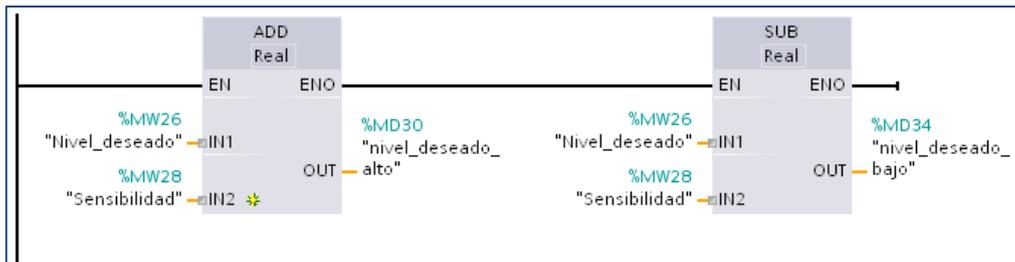
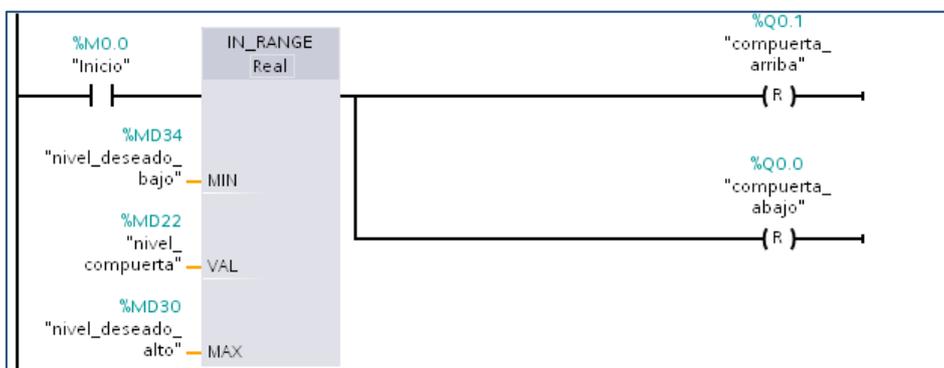
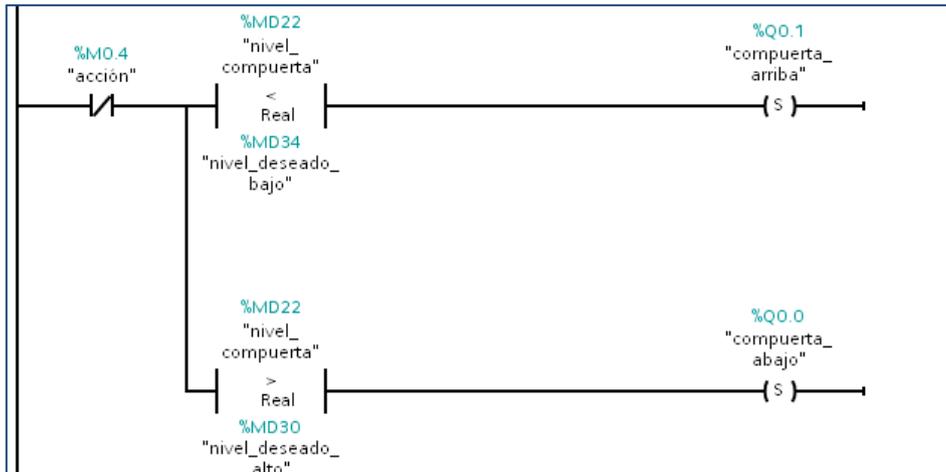


Figura 38. Niveles deseados de agua. [Autoría propia]

El director del canal determinará el nivel de agua necesario en el canal principal para cumplir con la demanda de agua en el sistema, este valor se almacenará en la variable “Nivel_deseado”. El valor del nivel deseado tendrá un rango de 0 a 100 centímetros. Además, el director del canal designará un porcentaje de sensibilidad al valor deseado de nivel, para evitar el accionamiento innecesario y frecuente del motor de la compuerta, éste valor se almacenará en la variable “Sensibilidad”. Por lo tanto, se tendrá una zona restringida, en la que la compuerta no trabajará, por ejemplo, si el valor de “Sensibilidad” es de 0.5, la zona restringida será de 1 centímetro. Los valores obtenidos se almacenan en las variables “nivel_deseado_alto” y “nivel_deseado_bajo”.



a) Compuerta dentro del rango.



b) Compuerta fuera del rango.

Figura 39. Control de la compuerta. [Autoría propia]

El control de la compuerta se lo realizará en dependencia del nivel deseado bajo y alto. Cuando el valor del nivel deseado está por debajo del nivel medido en la compuerta, se accionará el motor para que se realice el ajuste, elevando la compuerta. En el caso de estar sobre el nivel deseado, el motor de la compuerta se accionará para que ésta descienda. Cuando el nivel de la compuerta esté dentro del rango de definido por el director del canal, la compuerta no realizará ninguna acción.

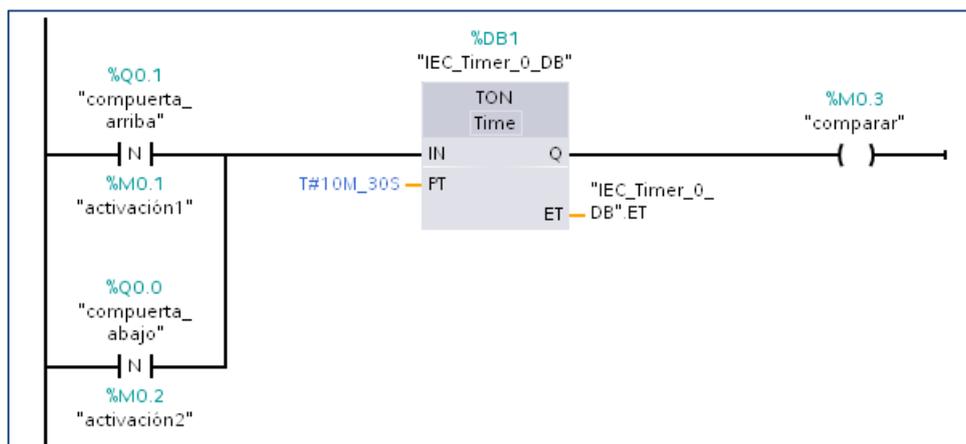


Figura 40. Tiempo de espera. [Autoría propia]

Luego de accionar la compuerta, se espera un tiempo para que el nivel del agua en el canal se estabilice y se pueda comparar el nivel del agua actual con el nivel que se esperaba. Si es demasiado bajo o demasiado alto se lanzará un aviso.

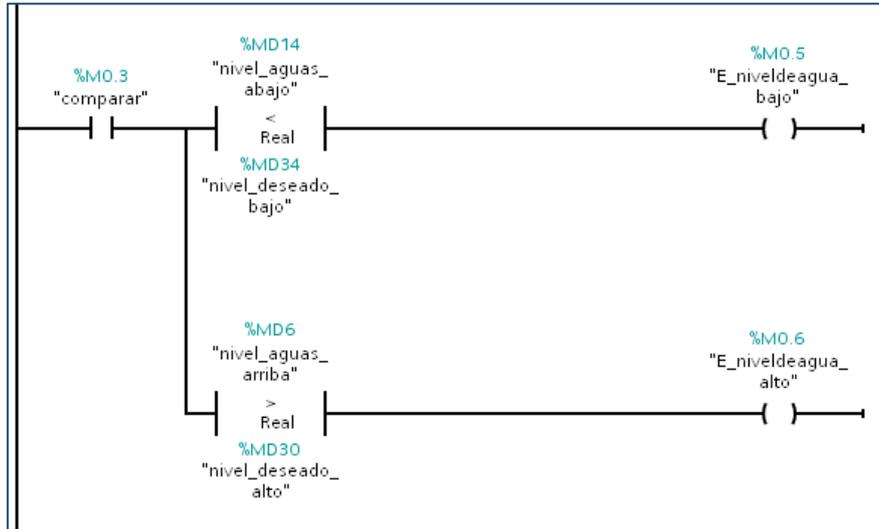


Figura 41. Comparar nivel del agua. [Autoría propia]

Se compara los resultados para verificar si el nivel del agua, con ayuda del sensor aguas abajo, es el esperado. Si no lo es se envía un mensaje para que el director del canal tome las medidas necesarias, ya que se puede tratar de una fuga u obstrucción del líquido en el canal principal.

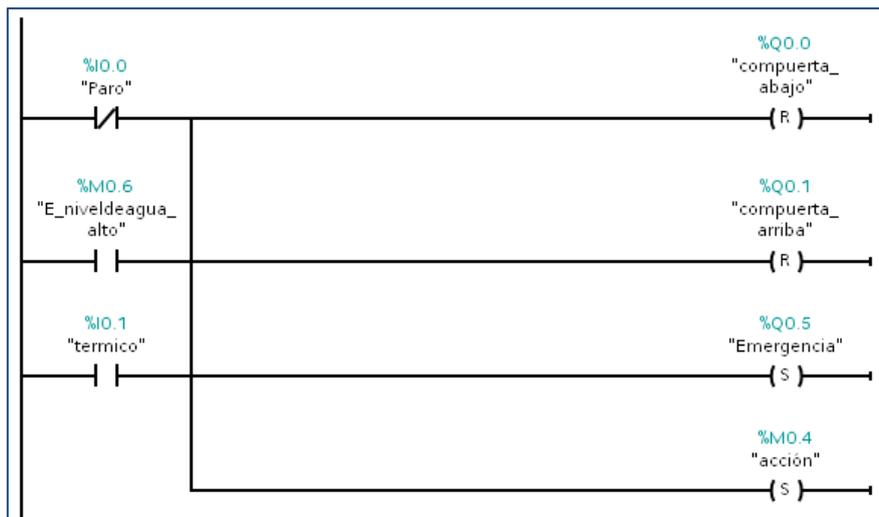


Figura 42. Paro de emergencia. [Autoría propia]

En casos de presentarse algún inconveniente se podrá accionar un paro de emergencia que detendrá las acciones que se estén realizando en ese momento. Además, se activará una señal de salida “emergencia”, señalando al encargado del canal que se ha producido un inconveniente.

En el caso de que falle el suministro de energía eléctrica convencional se realizará una transferencia a la energía auxiliar de paneles solares. Para ello, primero se debe preparar la señal de entrada de tensión del PLC; con ayuda de una fuente de 24 voltios continuos, conectado al suministro de energía eléctrica convencional, obtendremos la señal de entrada al PLC, que permitirá determinar el estado de la acometida.

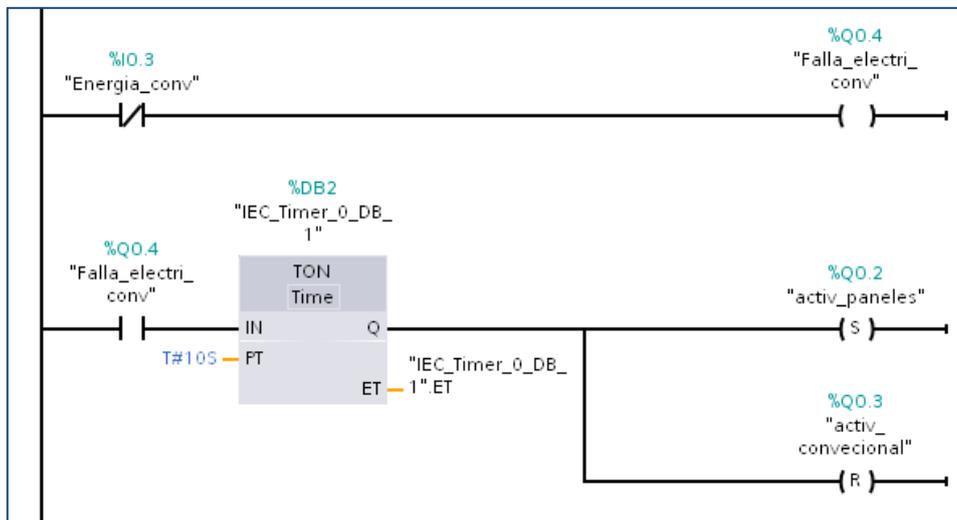


Figura 43. Ausencia de suministro eléctrico convencional y activación de energía auxiliar. [Autoría propia]

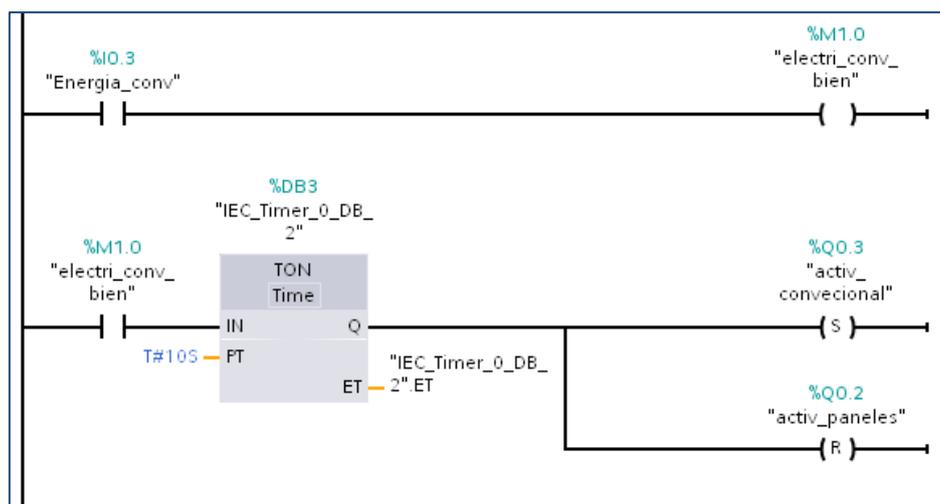


Figura 44. Restablecimiento de energía eléctrica convencional y desactivación de energía convencional. [Autoría propia]

Haciendo uso de una entrada digital del PLC, se mide la existencia de la energía eléctrica convencional. Si la tensión disminuye lo suficiente como para reconocerse como una falla en el suministro eléctrico convencional, se procederá a activar una alarma y luego de un tiempo se cambiará al suministro eléctrico auxiliar de paneles solares. Si luego de un tiempo, la entrada analógica de tensión del PLC recibe una señal que muestre que el suministro eléctrico regresó, se volverá a accionar el sistema eléctrico convencional.

Las salidas de digitales del PLC accionarán al sistema de alimentación eléctrico convencional y auxiliar, de acuerdo a las necesidades del sistema.

También se contará con algunas señales de entrada al PLC, que permitan señalar que se presenta alguna anomalía en nuestra estación. Al activarse alguna de estas variables se activará una alarma.

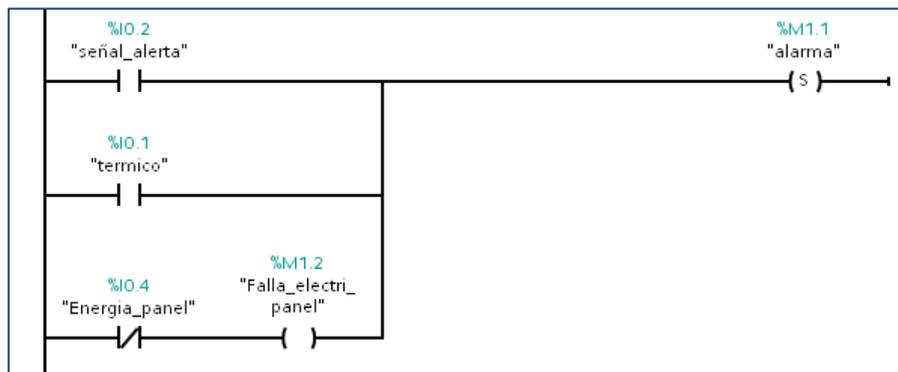


Figura 45. Señal de alarma. [Autoría propia]

A continuación se muestra algunas de las variables que se usaron en el programa:

Variables PLC							
	Nombre	Tabla de varia...	Tipo de datos	Dirección ▲	Visibl...	Acces...	Comentario
1	Paro	Tabla de varia...	Bool	%I0.0	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Boton de paro de emergencia.
2	termico	Tabla de varia...	Bool	%I0.1	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Entrada digital del relé térmico, en caso ...
3	señal_alerta	Tabla de varia...	Bool	%I0.2	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Señal de alerta, que se deja en el caso d...
4	Energia_conv	Tabla de varia...	Bool	%I0.3	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Existe correcto funcionamiento del siste...
5	Energia_panel	Tabla de varia...	Bool	%I0.4	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Mide la existencia de energía en el siste...
6	Sensor_a_arriba	Tabla de varia...	Int	%IW96	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Sensor aguas arriba de la compuerta. Se...
7	Sensor_a_abajo	Tabla de varia...	Int	%IW98	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Señal del sensor aguas abajo. Valores de...
8	Sensor_compuerta	Tabla de varia...	Int	%IW100	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Señal del sensor de la posición de la co...
9	compuerta_abajo	Tabla de varia...	Bool	%Q0.0	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Salida al motor. Activa el motor para que...
10	compuerta_arriba	Tabla de varia...	Bool	%Q0.1	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Activará la compuerta para que suba.
11	activ_paneles	Tabla de varia...	Bool	%Q0.2	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Cambio al suministro de corriente eléctri...
12	activ_convencional	Tabla de varia...	Bool	%Q0.3	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Activa la conexión eléctrica convencion...
13	Falla_electri_conv	Tabla de varia...	Bool	%Q0.4	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Alarma de fallo en el suministro eléctrico.
14	Emergencia	Tabla de varia...	Bool	%Q0.5	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Señal de emergencia que se activará cuan...
15	Inicio	Tabla de varia...	Bool	%M0.0	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Indicará que el programa iniciará.
16	activación1	Tabla de varia...	Bool	%M0.1	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Se guarda temporalmente el valor anteri...
17	activación2	Tabla de varia...	Bool	%M0.2	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Se almacena temporalmente el valor a...
18	comparar	Tabla de varia...	Bool	%M0.3	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Si es un 1 lógico, se ordena comparar. Si...

Figura 46. Variables en la programación.[Autoría propia]

El controlador lógico programable se colocará en un armario cerrado cerca de la compuerta del canal, para poder protegerlo de las inclemencias del clima y para protegerlo de la manipulación de personas no autorizadas.

d.5.3.2. Sensores.

Los sensores de nivel permitirán monitorear las condiciones actuales del sistema. Cada Estación Remota contará con 3 sensores de nivel principales, dos sensores monitorearán el nivel del agua en el canal principal y un sensor ayudará a determinar la apertura de la compuerta.

Los sensores encargados del nivel del agua en el canal serán los sensores ultrasónicos Rosemount 3101 de Emerson Process Management, que se colocarán aguas arriba y aguas abajo de la compuerta de control, aproximadamente a 300 metros de las compuertas de control. Estos sensores transmitirán el valor de nivel representada en una señal de 4 a 20 mA. La alimentación del sensor es de 12 a 30 Vcc.

El sensor Rosemount 3101 detecta distancias de 0,3 a 8 metros, teniendo una zona muerta en los 30 centímetro más próximos al sensor. Se recomienda además, tener 11 centímetros de distancia entre las paredes u obstáculos, paralelos a la posición del sensor, por cada metro de distancia

entre el nivel del líquido y el sensor, para evitar fallos la medición. El canal principal cuenta con una sección transversal rectangular de 1,10 por 0,90 metros. Para canales abiertos, el fabricante recomienda una distancia mínima de 31 centímetros más que la máxima altura del nivel del agua, por lo que el sensor se puede colocar, con ayuda de una estructura metálica, a una altura de 60 centímetros de la superficie superior del canal, a 1,50 metros, medido desde la base del canal. Los transmisores Rosemount 3101 son resistentes a la intemperie y están protegidos contra la entrada de polvo [22].



Figura 47. Sensor ultrasónico Rosemount 3101 de Emerson Process Management [22].

Los sensores Rosemount 3101 son especialmente diseñados para medir niveles de líquidos en depósitos o canales abiertos. Se pueden conectar directamente a un sistema de control de planta, o se puede utilizar con una unidad de control Rosemount serie 3490, que proporciona funcionalidades control programable, incorporando relés a sus salidas [22].

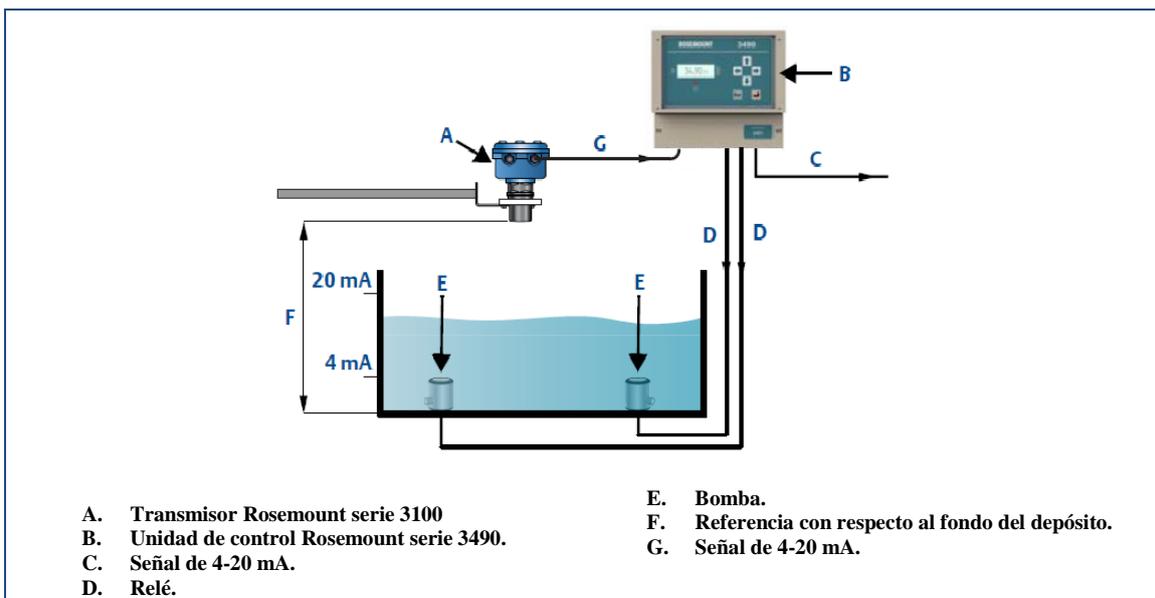


Figura 48. Aplicación típica del sensor Rosemount de la serie 3100 [22].

La conexión del sensor se la realizará con cable de cobre, hilos apantallados en par trenzado de calibre 18 AWG, directamente a las entradas del PLC, teniendo en cuenta que la alimentación mínima para el correcto funcionamiento del sensor es de 12 Vcc, y que se debe tener instalada la respectiva conexión a tierra en la Estación de Control con el apantallamiento del cable [22].

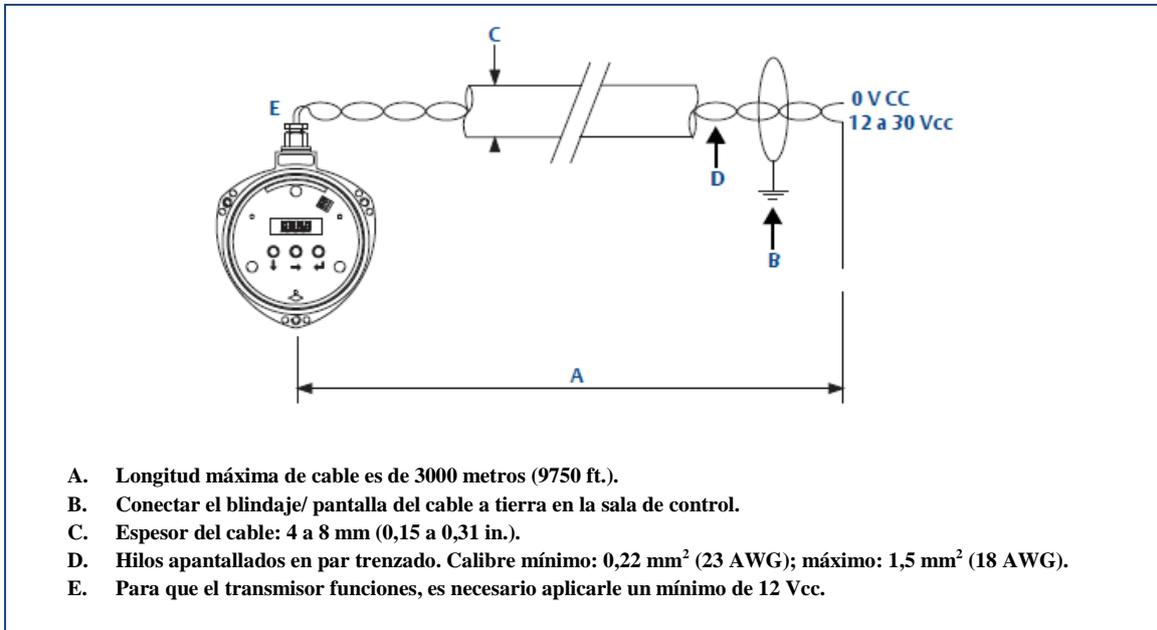


Figura 49. Diagrama de cableado para el modelo 3101 [22].

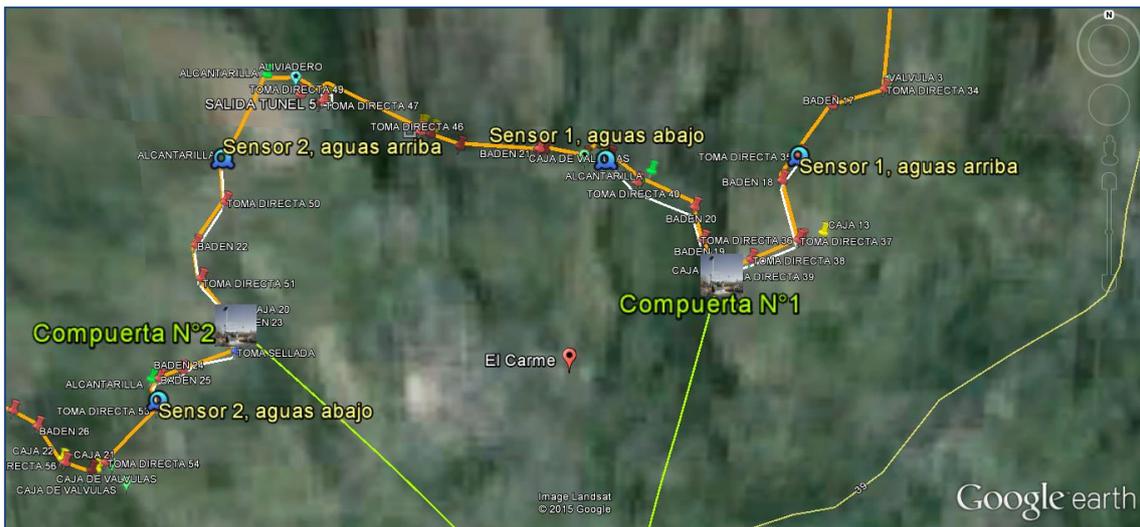


Figura 50. Ubicación de los sensores de nivel en el canal principal. [Autoría propia]

Los sensores se encontrarán a 300 metros de distancia, aguas arriba y aguas debajo, de cada una de las compuertas de control, en las siguientes coordenadas:

Sensor 1 Aguas Arriba:

- 17 M
- 697223.00 m E
- 9535818.00 m S

Sensor 1 Aguas Abajo:

- 17 M
- 696884.00 m E
- 9535813.00 m S

Sensor 2 Aguas Arriba:

- 17 M
- 696215.00 m E
- 9535815.00 m S

Sensor 2 Aguas Abajo:

- 17 M
- 696095.00 m E
- 9535391.00 m S

d.5.3.3. Actuadores.

En la automatización del sistema de canales de riego, los actuadores son los motores que realizarán la manipulación de las compuertas de control. Con el accionamiento del giro del motor se puede abrir o cerrar la compuerta, aumentando o disminuyendo la cantidad de líquido en el canal. Los actuadores se encontrarán en cada Estación Remota.

d.5.3.3.1. Compuerta de Control.

La compuerta de control es una estructura metálica que cuenta con una plancha que cambia de posición de acuerdo a la manipulación de una manivela que mueve una estructura central en forma de tornillo.

La sección transversal del canal principal es de 110 cm. por 90 cm., por lo que la compuerta escogida deberá contar con las siguientes características: el marco de la compuerta tendrá 110 cm por 210 cm. por 5 cm., será de acero al carbono o de aluminio laminado duro para dar un soporte firme de la compuerta.

El panel de la compuerta tendrá 100 x 90 cm., será de aluminio laminado 5083-H321 (de calidad marina), para que soporte las exigencias del canal. Contará con juntas de caucho y bandas de desgaste de PVC que le permitirá deslizarse hacia arriba y hacia abajo. La columna principal, con forma de tornillo, que permitirá el movimiento de la compuerta será de acero inoxidable y tendrá una longitud de 145 centímetros, con un diámetro de 3 centímetros.

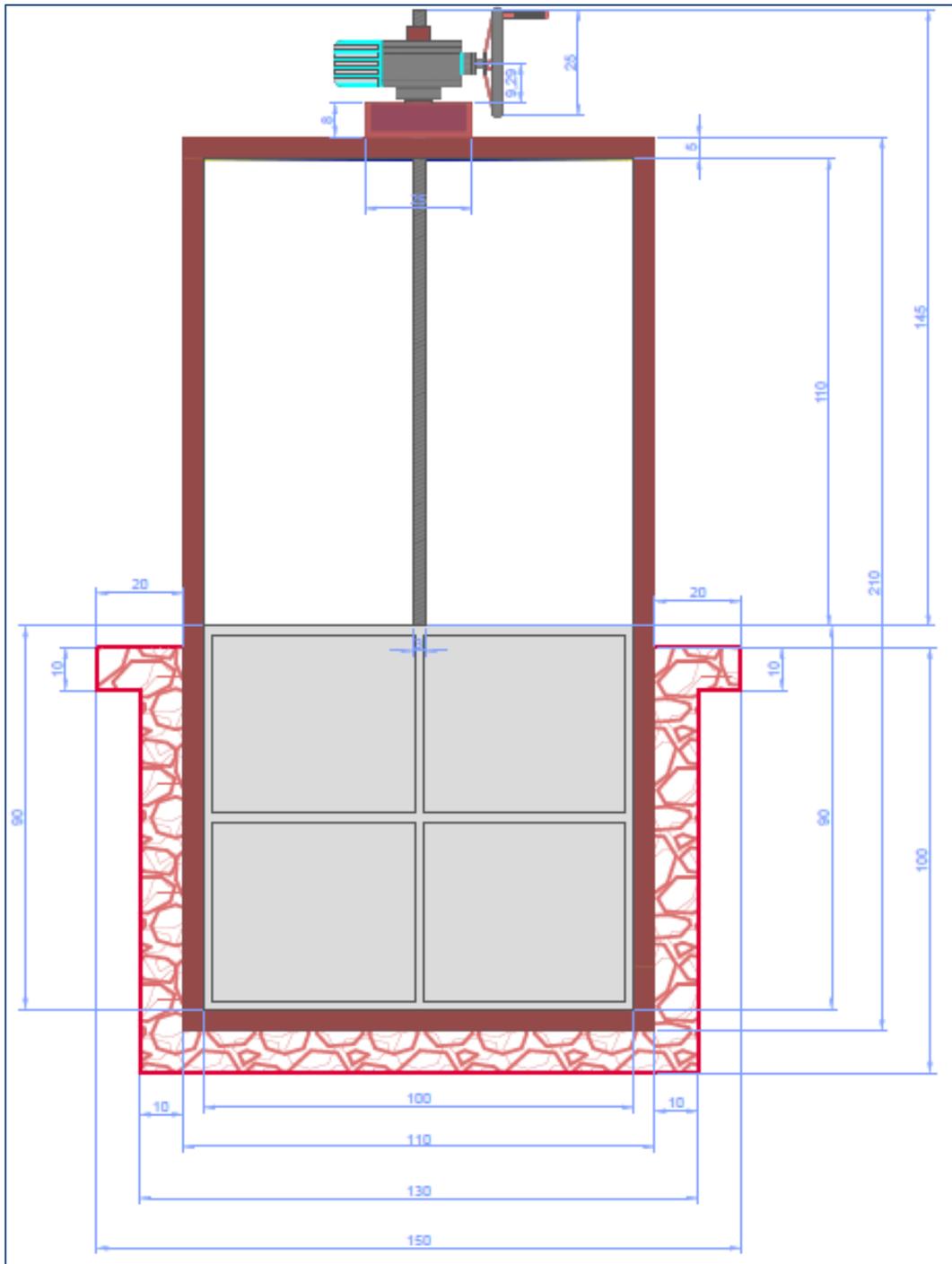


Figura 51. Compuerta de control del canal principal. [Autoría propia]

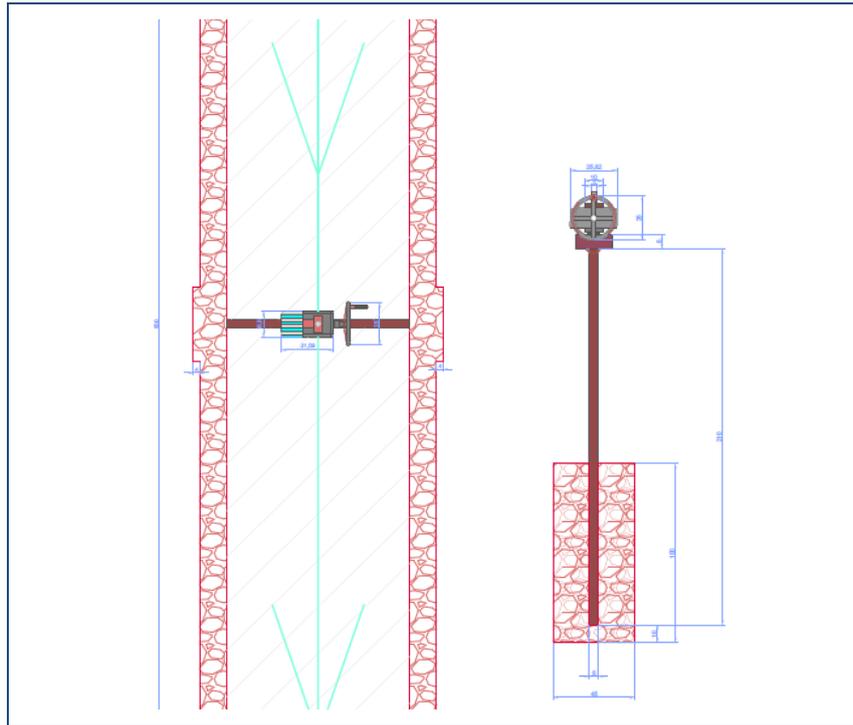


Figura 52. Vistas de la compuerta de control del canal principal. [Autoría propia]

d.5.3.3.2. Motores.

El motor se encargará de realizar a apertura y cierre de la compuerta. El motor debe cumplir con características particulares para poder ser utilizado en las compuertas de control, debe contar con el torque suficiente para manipular la compuerta, debe ser eficiente eléctricamente, debe ser resistente a las inclemencias del clima, etc.



Figura 53. Motor de 3/4 HP a 220 V ac, 2800 rpm [23].

El motor eléctrico será de 3/4 HP., se alimentará del suministro de energía eléctrica convencional, a 220 V AC. El motor contará con una caja reductora que de engranajes que

reducirá la velocidad e incrementará el torque, para que pueda manipular la compuerta de control sin ningún problema.

La etapa de potencia se encontrará a la salida del controlador, en la que se realizará la adecuación de la señal para la activación del motor eléctrico. Como protección para el accionamiento del motor, se contará con un contactor y relé término que lo protegerá de sobre esfuerzos o sobre corrientes en el motor.

d.5.3.3.2.1. Alimentación eléctrica.

La alimentación eléctrica principal a la Estación Remota se la realizará con ayuda de una acometida desde el poblado más cercano, “El Carmen”, que entregará la empresa eléctrica responsable del sector. Con la ayuda de cable concéntrico 3x8+10, soterrado, paralelo al canal principal, se conectará cada RTU a la red de energía convencional. El cable cubrirá una distancia de 300 y 600 metros para la estación remota 1 y 2, respectivamente.

En cada Estación Remota se encontrará dos suministros de energía, el convencional que señalamos anteriormente y el suministro de energía eléctrica auxiliar que se lo realizará con ayuda de dos paneles solares.

La principal carga que tenemos en cada Estación Remotas son los motores. El motor escogido es de 3/4 HP., tendrá una potencia aproximada de 560 W. El motor trabajará a una tensión de 220 V ac, por lo que la corriente nominal que manejará será de cerca de 3 A. La conexión se verá en la Figura 54.

Se tendrá dos direcciones de giro en el motor, una para que la compuerta suba y otra para que la compuerta baje. De acuerdo a la programación del controlador lógico programable se activarán por un determinado tiempo el motor en esas direcciones, hasta igual los valores determinado por el director del canal.

Para realizar la conexión se necesitará un breaker principal de dos polos que se lo regulará en un valor adecuado, en el rango de 2.5 – 4 amperes. Además, se colocará como protecciones para el motor dos contactores y dos relés térmicos, que se ajustarán al amperaje necesario para que en caso de producirse algún desperfecto, desactiven la conexión de fuerza del motor.

El cableado se lo realizará con conductores flexibles de cobre número 18 AWG de 12 hilos. La conexión de fuerza se lo realizará con cables de color negro y blanco. La conexión de control se lo realizará con cables de color rojo y celeste.

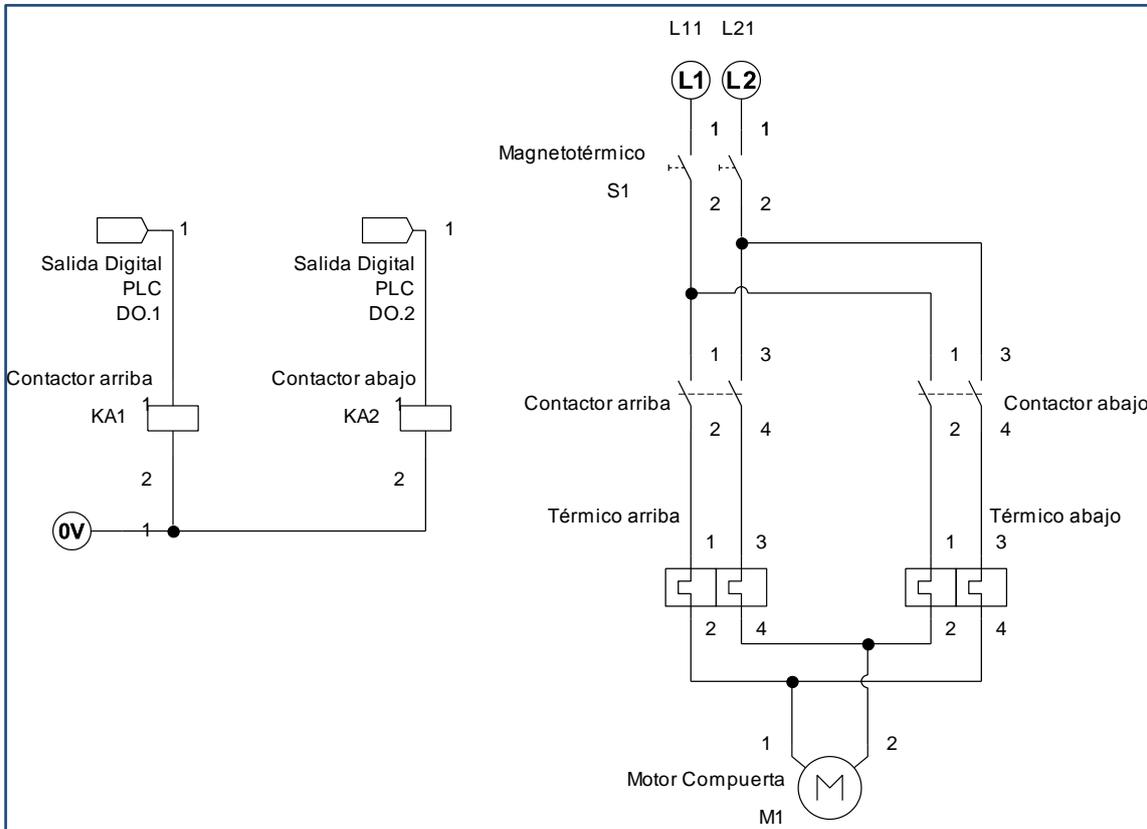


Figura 54. Esquema eléctrico de la compuerta de control. [Autoría propia]

d.5.4. Sistema de energía auxiliar con paneles solares.

Se usará un sistema de energía auxiliar con paneles solares, aprovechando las condiciones climáticas del lugar. La principal carga eléctrica en las estaciones remotas es la compuerta motorizada, que cuenta con un motor de 560 W, las demás cargas no representan gran demanda, en comparación a esta.

Un panel solar genera energía de 3 a 4,5 horas al día, en promedio. Por lo que se necesitará de un panel solar de 150 Wp., obteniendo en un día de 4 horas de carga solar, 600 Wh, suficientes para cumplir con las necesidades de funcionamiento del motor de la compuerta, por una hora. Debido a la naturaleza del sistema, el trabajo que realizará el motor de la compuerta,

difícilmente excederá la hora de trabajo, por lo que un panel de 150 Wp, podrá abastecer sin problema al sistema.

Un sistema de energía auxiliar de paneles solares debe contar con un controlador, que permitirá la carga del banco de baterías y cuidará su vida de uso. El controlador deberá ser el adecuado para soportar las exigencias de energía del sistema. Otra elemento importante del sistema de energía auxiliar será el inversor, que proporcionará la corriente alterna, necesaria para los equipos que funcionan con esta energía.

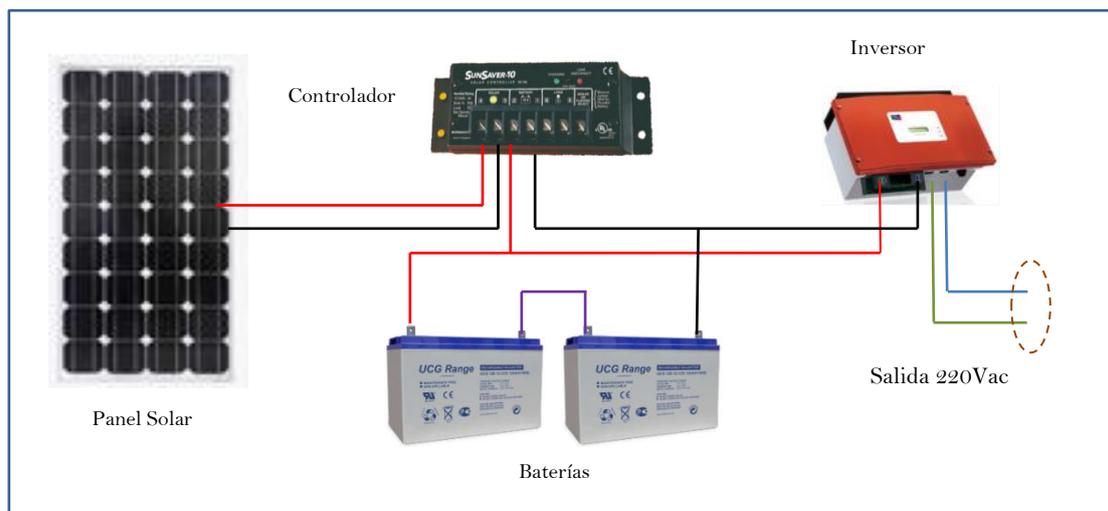


Figura 55. Sistema de energía auxiliar con paneles solares. [Autoría propia]

Cada RTU contará con un sistema de energía auxiliar. Los elementos de los que estará formado el sistema de energía auxiliar, serán los siguientes:

- Un panel solar con celdas monocristalinas de marca Simax SM636-150, de 150 Wp. a 12 voltios.
- Un controlador Morningstar SunServer SS de 12 voltios y 20 amperios.
- Dos baterías de 12 V., 100 Ah.
- Un inversor Samlex america 1000W, de 1000 Wp, con salida de 220 voltios de corriente alterna.

La conexión del sistema eléctrico auxiliar se lo realizará con cable número 10 AWG, como lo aconseja el fabricante.

d.5.5. Sistema de comunicación.

El sistema de comunicación enlazará al Centro de Control, que se encuentra en un sector poblado fuera del sistema de riego, con las dos Estaciones Remotas ubicadas en el canal principal. La comunicación se la realizará con ayuda de dos radioenlaces. Cada Estación Remota contará con una estructura metálica con una antena en la parte superior, que apuntará a la Estación Central, que también contará con antenas para la recepción de la señal.

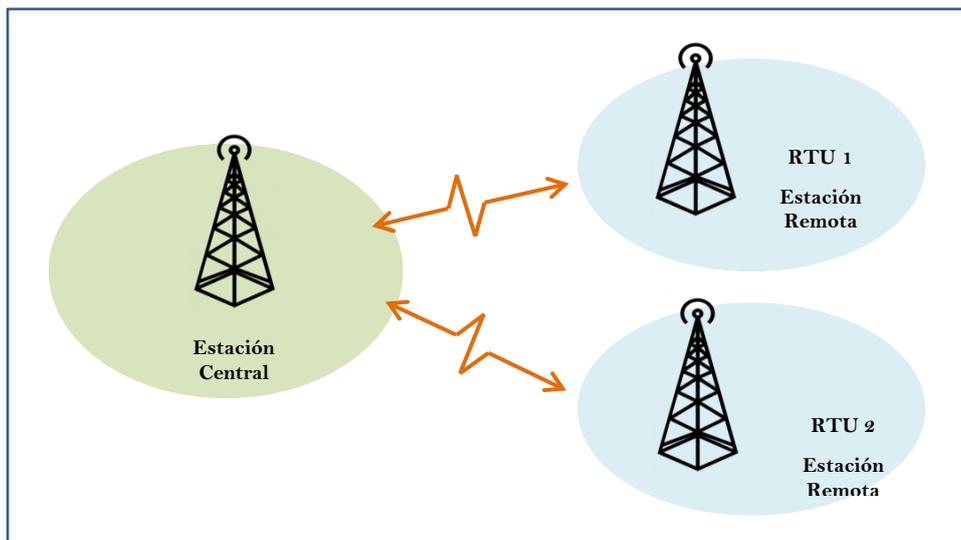


Figura 56. Esquema del sistema de comunicación. [Autoría propia]

La comunicación se dará de modo que las antenas realicen el trabajo de conectar al computador principal de la Estación Central con los controladores lógicos programables de las Estaciones Remotas, para poder controlarlas y monitorearlas. Las antenas se configurarán para que sean un puente de comunicación entre estas dos.

Las Estaciones Remotas se encontrarán en los siguientes puntos:

RTU 1:

Latitud: 697090.00 m E

Longitud: 9535640.00 m S

RTU 2:

Latitud: 696225.00 m E

Longitud: 9535552.00 m S

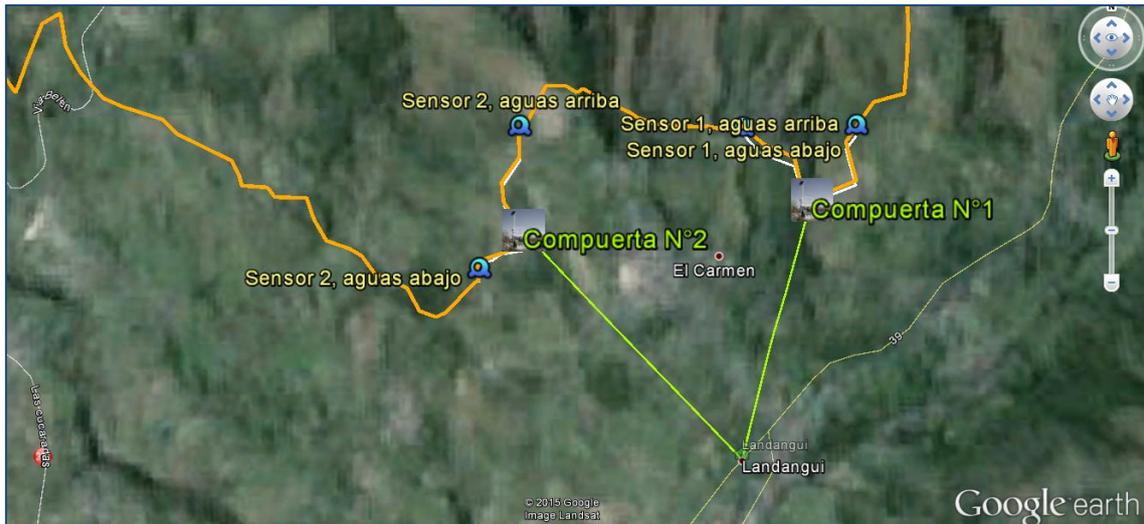


Figura 57. Localización de las RTU y la Estación Central. [Autoría propia.]

Y la Estación Central, se encontrará en el poblado de Landangui, aprovechando la cercanía y facilidades que da este lugar. Tendrá las siguientes coordenadas:

Estación Central:

Latitud: 696895.00 m E

Longitud: 9534859.00 m S

d.5.5.1. Antenas.

La antena escogida es una antena airGrid M5 HP modelo AG-HP-5G23, de la marca Ubiquiti, con una ganancia de 23 dBi. Es una antena pequeña de 37x27 centímetros, pero que cumple con nuestras necesidades de comunicación.

La AirGrid M5 HP es una antena robusta, incorporando el sistema de radio a la antena, dispone de indicadores Led de actividad y nivel de la señal para facilitar su orientación. Puede ser fácilmente orientada a usar la polarización adaptativa, vertical u horizontal. Para ajustar la polarización, sólo debe girar la grilla a la posición deseada de polarización y girar la abertura en la parte trasera de la antena. Tiene un diseño totalmente resistencia a la intemperie. [24]

La hoja de datos de esta antena señala que permite conexiones de 10 a 12 kilómetros y en enlaces punto a punto de hasta 15 kilómetros, lo que cumple con los requerimientos.



Figura 58. Antena airGrid M5 HP de la marca Ubiquiti [24].

d.5.5.2. Simulación.

La simulación se la realizó en el software Radio Mobile, que permite la simulación de radio propagación, acercándonos al comportamiento real de un sistema de radio, también permite simular radioenlaces y representar el área de cobertura de una red de radiocomunicación, entre otras funciones. El software trabaja en el rango de frecuencias entre 20 MHz y 20 GHz, que está dentro del rango de los radioenlaces.

La comunicación con las Estaciones Remotas, se la realizará con dos radioenlaces en la frecuencia de 5,8 GHz., en uno con polaridad vertical y en otro con polaridad horizontal, para evitar interferencias. En el caso de las Estaciones Remotas, las antenas se colocarán a 6 y 7 metros del nivel del suelo, con ayuda de una estructura metálica que será la base de nuestra antena. En la Estación Central, al estar en un centro poblado, se puede hacer uso de las estructuras ya presentes y construir una base en la que se pueda incorporar a las dos antenas para la comunicación. Las antenas para comunicar con la Estación Remota 1 y 2 se encontrarán a 12 y 11 metros, respectivamente.

El radioenlace entre la RTU 1 y la Estación Central tendrá una longitud de 0,81 kilómetros, mientras que el radioenlace con la RTU 2 será de 0,97 kilómetros. Las antenas utilizadas en el radioenlace tienen incorporados los mecanismos de transmisión en la misma antena, es un modelo compacto y fácil de implementar. La potencia de transmisión de los equipos es de 25

dBm y una sensibilidad de recepción de -97 dBm, para tasas de transmisión de 1-24 Mbps, que cubre sin dificultades las necesidades de comunicación en el sistema.

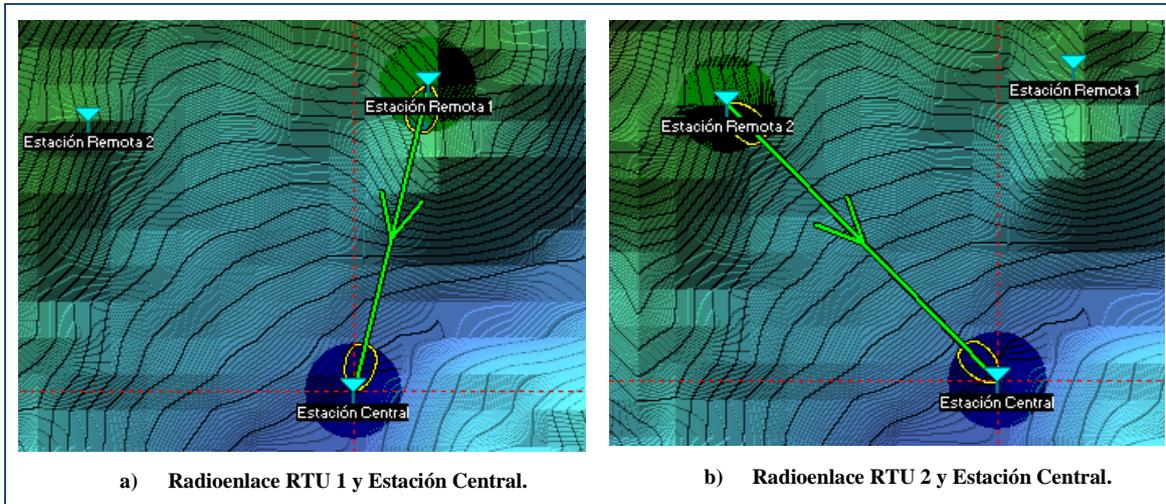


Figura 59. Simulación de radioenlaces en el software Radio Mobile. [Autoría propia]

Al contar con línea de vista entre las Estaciones Remotas y la Estación Central, y además, al contar con distancias menores a un kilómetro, ambos radioenlaces cumplen con satisfacción los requerimientos de comunicación para la automatización del sistema de canales.

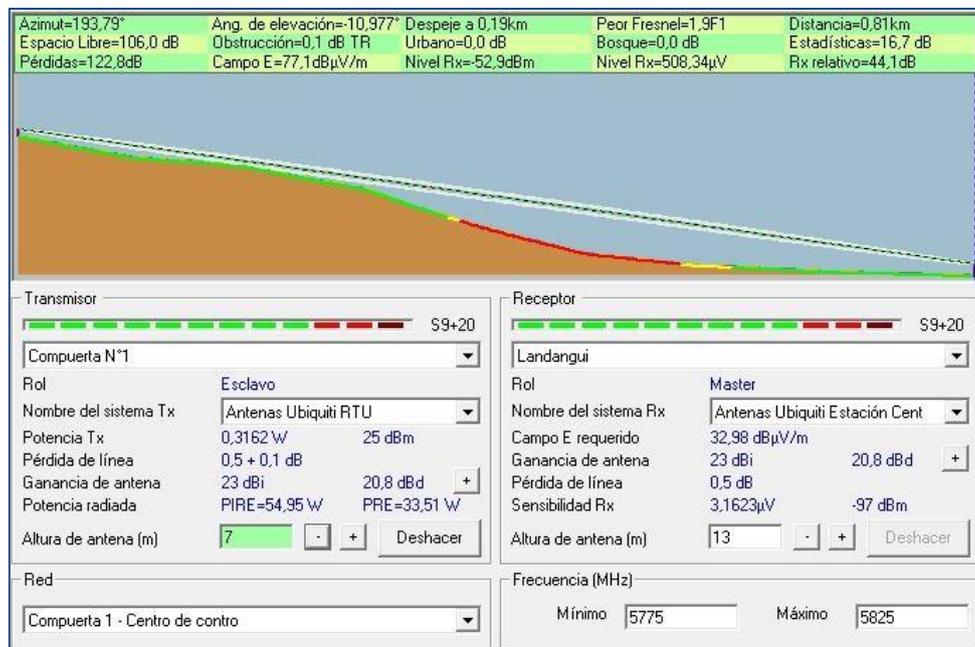


Figura 60. Radioenlace de la Compuerta N-1 a la Estación Central ubicada en Landangui. [Autoría propia]

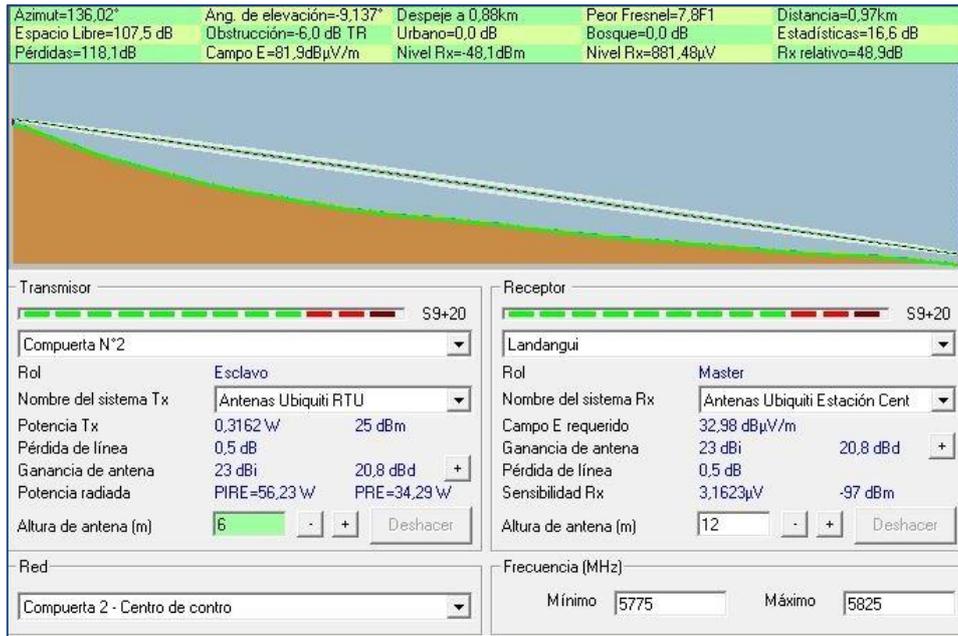


Figura 61. Radioenlace de la Compuerta N-2 a la Estación Central ubicada en Landangui. [Autoría propia]

Los formularios necesarios para tener autorización de uso del espacio radioeléctrico en el Ecuador, para realizar radioenlaces de este tipo, se los puede encontrar en la página de la Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones, en la siguiente dirección: www.arcotel.gob.ec/formularios-fijo-movil-terrestre/

Entre los formularios se encuentran requerimientos legales y técnicos, como características de las antenas, equipos, ubicación y dimensiones de las torres de comunicación, etc.

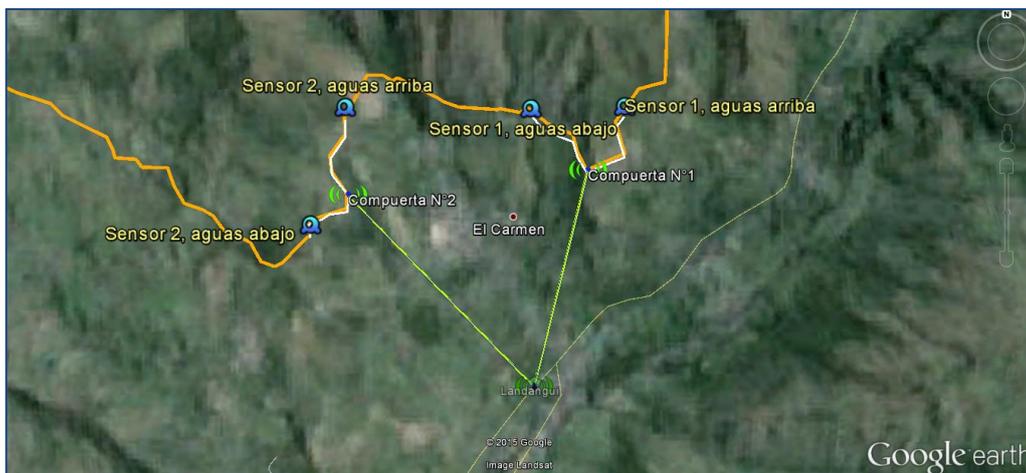


Figura 62. Radioenlaces de comunicación. [Autoría propia]

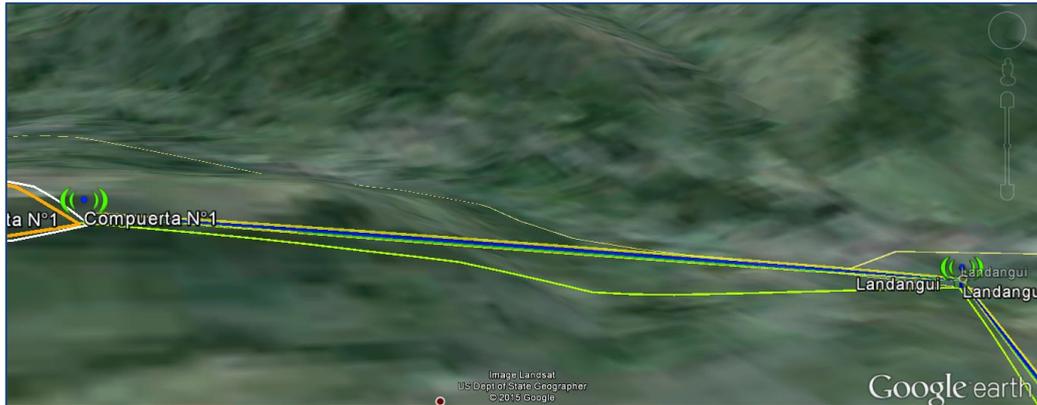


Figura 63. Radioenlace entre la RTU 1 y la Estación Central. [Autoría propia]

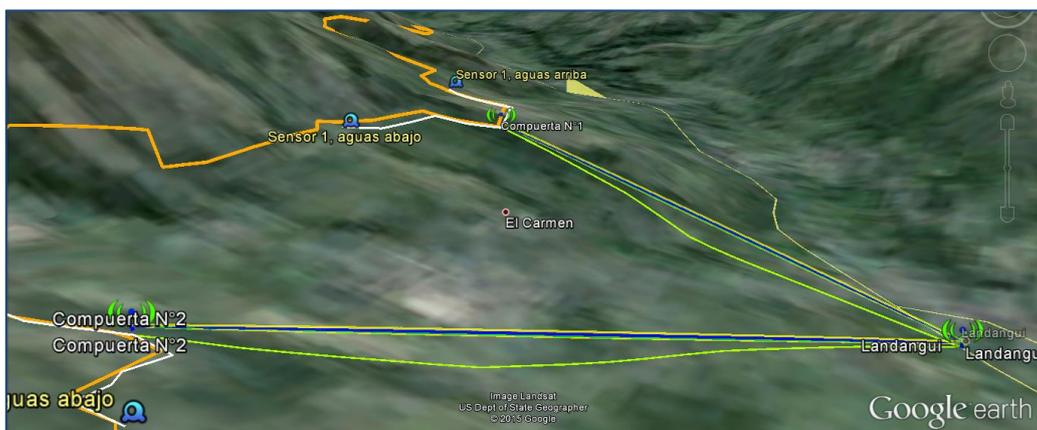


Figura 64. Radioenlace entre la RTU 2 y la Estación Central. [Autoría propia]

d.5.6. Estación central.

La Estación Central es la encargada de gobernar el sistema. El director del canal, realizará las funciones de control, monitoreo y administración del sistema desde aquí. La estación central se encontrará en la zona poblada de “Landangui”, facilitando los inconvenientes de los regantes, al ser un lugar de fácil acceso, con vías automovilísticas y rutas de servicio de transporte público. También, es este lugar se contará con los suministros de servicios básicos, lo que permite una fácil ejecución de las labores de control por parte del personal encargado.

El suministro eléctrico será el convencional y se podrá contar con servicios de telefonía para que la comunicación entre la Comunidad Regante y el director del canal, pueda ser más ágil.

La Estación Central contará con elementos pertenecientes al sistema administrativo, de control y de comunicación del canal, por lo que, la estación contará principalmente con los siguientes elementos:

- Un computador que cumpla con los requerimientos necesarios para el manejo del software SCADA Vijeo Citect.
- Monitor principal en el que se mostrarán los procesos del sistema.
- Torre de transmisión
- Antenas airGrid M5 HP para la comunicación con las RTUs.
- Cables de conexión.
- Artículos de oficina.

El director del canal será el encargado de la planificación del sistema de canales de riego. Para ello contará con un registro actualizado de los miembros y requerimientos del sistema. Con ayuda de sus registros podrá desarrollar y determinar las mejores decisiones a tomar.

Desde la Estación Central se recibirá y monitoreará el nivel del agua en el canal principal, estos valores serán tomados por los sensores ultrasónicos de nivel, que entregarán la información al PLC y éste a su vez enviará la información al director del canal. También se monitoreará la apertura de la compuerta de control del canal, para verificar que tiene la altura deseada. De esta forma el director del canal tendrá conocimiento de la situación actual y real del sistema.

El software SCADA Vijeo Citect permite realizar la manipulación directa de las variables, así, si el director del canal determina que se debe realizar un cambio en la apertura de la compuerta de control, el software se comunica con el PLC, en dependencia de su programación, y le ordena realizar tal acción. Por lo tanto, desde la estación Central se podrá monitorear, activar en uno u otro sentido la compuerta de control, teniendo el control del sistema de canales de riego.

d.5.6.1. Software SCADA-Vijeo Citect.

El software escogido es el SCADA Vijeo Citect, perteneciente a la marca Schneider Electric. Este software está compuesto principalmente de 3 herramientas [25]:

- **Citect Explorer**, sirve para crear y gestionar los proyectos.

- **Citect Project Editor**, ayuda a crear y manejar la base de datos de Vijeo Citect que contiene las informaciones de configuración del proyecto.
- **Citect Graphics Builder**, ayuda a crear las páginas gráficas que se presentarán a los usuarios.

El principal programa es el Citect Explorer, que al ejecutarlo también arranca las otras dos herramientas. Aquí se almacena la información relevante a las páginas o pantallas, las tags, alarmas, comunicaciones, etc.

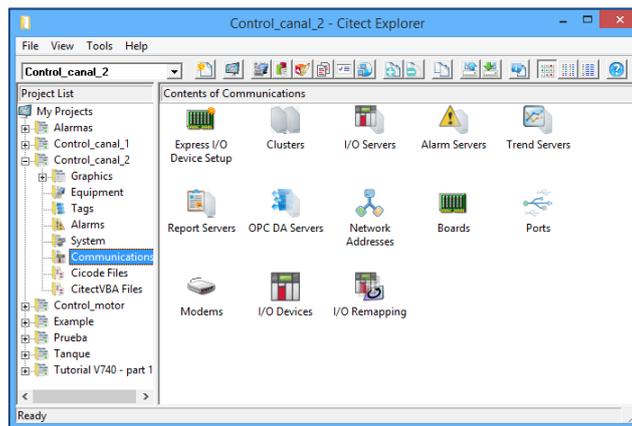


Figura 65. Pantalla del Citect Explorer. [Autoría propia]

El Citect Project Editor se utiliza para gestionar las bases de datos internas. Estas bases de datos contienen toda la información de configuración del proyecto (variables, dispositivos E/S, etc.) Para visualizar los registros internos de estas bases de datos, se puede utilizar este editor. También en este editor se realiza la compilación y se lanza la ejecución del proyecto.

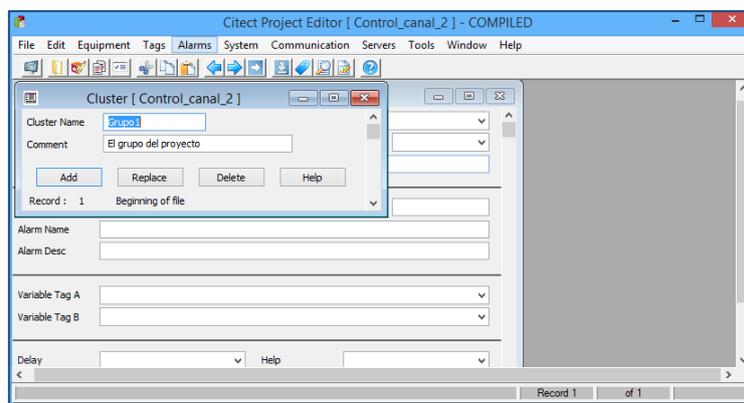


Figura 66. Pantalla del Citect Project Editor. [Autoría propia]

El Citect Graphics Builder se utiliza para crear y editar las páginas y objetos contenidos en el programa. Esta ventana es la que se presenta al ejecutar el programa, así que cuenta con distintos elementos gráficos que le permiten al operario realizar su trabajo de forma cómoda e intuitiva. En esta parte del programa se agregan elementos visuales y sonoros como luces piloto, alarmas, pantallas desplegadas, intercambio entre pantallas, menús de selección, etc. cada uno de estos elementos viene vinculado con alguna variable que es declarada en la ventana anterior. De la misma forma todas las variables y valores almacenados en el programa se agrupan y guardan en la primera ventana, en la Citect Explorer, de esta forma, se interrelacionan todas las herramientas y ayudan a tener el control del sistema.

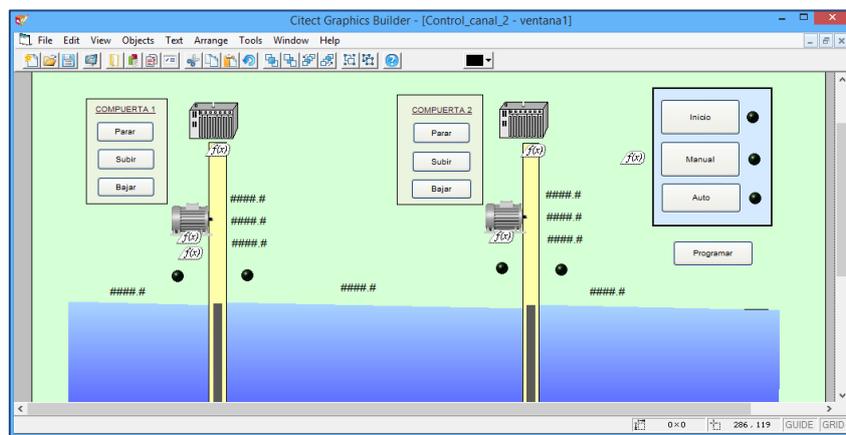


Figura 67. Pantalla del Citect Graphics Builder. [Autoría propia]

A la hora de comprar una licencia ésta se mide en función de las tags (variables intercambiables entre el computador y el PLC) que se empleen. Para la realización del presente proyecto se utilizó la versión de prueba, que cuenta con un gran número de variables para trabajar, pero limita el funcionamiento en el tiempo de ejecución.

d.5.6.1.1. Requerimientos del sistema.

Los requerimientos de hardware que señalan los fabricantes de Vijeo Cietct para el correcto funcionamiento del software son [25]:

- Velocidad de procesador de 3.2GHz Single Core, y si va a trabajar como servidor del programa, se necesita una velocidad de 3.2GHz Dual Core

- Memoria RAM de 4GB para clientes y 8 GB si es el servidor del SCADA.
- Disco duro con 250GB de espacio
- Tarjeta de video con al menos 128MB de VRAM

Además señala que se recomienda un monitor con una resolución de 1024 por 768 pixeles o mayor.

Para los requerimientos de software, los programas más comunes con los que Viejo Citect puede trabajar son Windows 7 con Service Pack 1, Windows Vista con Service Pack 2, Windows XP Professional y Windows Server 2008 R2, todos de 32 Bits y 64 Bits.

d.5.6.1.2. Comunicación.

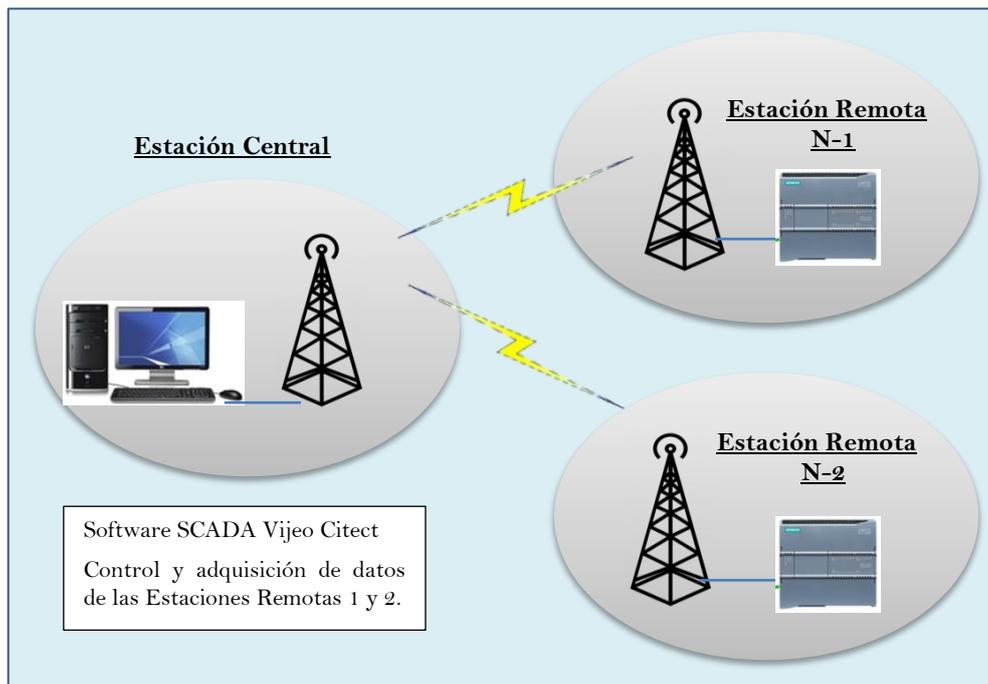


Figura 68. Comunicación del sistema SCADA Viejo Citect. [Autoría propia]

La comunicación normal entre el PLC y el SCADA se lo realizar por medio de una red Ethernet, pero existen varias formas de realizar esta comunicación, podemos encontrar SCADAs sobre distintos estándares como los RS-232, RS-422 y RS-485 a partir de los cuales, y mediante un protocolo TCP/IP, podemos conectar el sistema sobre un bus y configurarlo de tal forma que

podamos pasarlo por todo tipo de buses de campo industriales, incluso con ayuda de módems con más características, se puede conectar por otros medios como Bluetooth, Microondas, Satélite, Cable, Fibra, etc. [17].

El PLC escogido, SIMATIC s7-1200, se comunicará por medio de su puerto Ethernet al servidor del SCADA Vijeo Citect. Debido a que la Estación Remota con el PLC se encuentran dentro de la zona de trabajo, y el servidor del SCADA en la Estación Central, se hace uso del sistema de comunicación por medio de radioenlaces como se indicó anteriormente.

e. MATERIALES Y MÉTODOS

e.1. Materiales.

Para cumplir con todos los objetivos del presente proyecto, la consulta bibliográfica se realizó con el uso de libros, revistas especializadas, artículos científicos e internet.

La obtención de información también fue posible gracias a algunas entrevistas con los miembros de la Empresa Pública RIDRENSUR, perteneciente al Gobierno Provincial de Loja, en especial al Ing. Vicente Torres Bustamante, Gerente General, quien supo dar el apoyo todas las facilidades para la recolección de información.

Además se desarrolló una visita técnica al Sistema de Riego Campana Malacatos, para poder constatar la forma actual de control que se tiene.

e.2. Métodos.

Mediante el método analítico se estudió los diversos elementos que compone un sistema de canales de riego. Se encontró que un sistema de canales de riego está compuesto de elementos muy diversos, en parte, debido a las grandes longitudes que esos canales tienen. Se observó las principales dificultades que deben cubrir las personas encargadas del control del sistema y la forma en que estas personas realizan sus actividades. Se buscó simplificar cada tarea para trabajar sobre ellas y reemplazarlas por acciones que se pueda realizar por medio de autómatas.

Con el método sintético se observó a todo el sistema de forma más general, buscando el cumplir con el principal objetivo del sistema que es el llevar el recurso hídrico a las zonas de cultivo para la comunidad regante.

Con ayuda del método deductivo se pudo determinar la forma más práctica de realizar la automatización del sistema de canales de riego, evitando estancarse en problemas propios de la naturaleza de estos sistemas.

f. RESULTADOS.

f.1. Propuesta de implementación.

El sistema automatizado de canales de riego Campana Malacatos, quedará dividido espacialmente en tres lugares, una será la Estación Central, ubicada en el poblado “Landangui”, mientras que las dos Estaciones Remotas estarán ubicadas a lo largo del canal principal, relativamente cerca del poblado “El Carne”.

Las coordenadas geográficas de esos lugares se detallan a continuación:

<u>Estación Central</u>	<u>Estación Remota N-1</u>	<u>Estación Remota N-2</u>
Latitud: -4.206178°	Latitud: -4.199285°	Latitud: -4.199013°
Longitud: -79.226170°	Longitud: -79.224687°	Longitud: -79.229646°

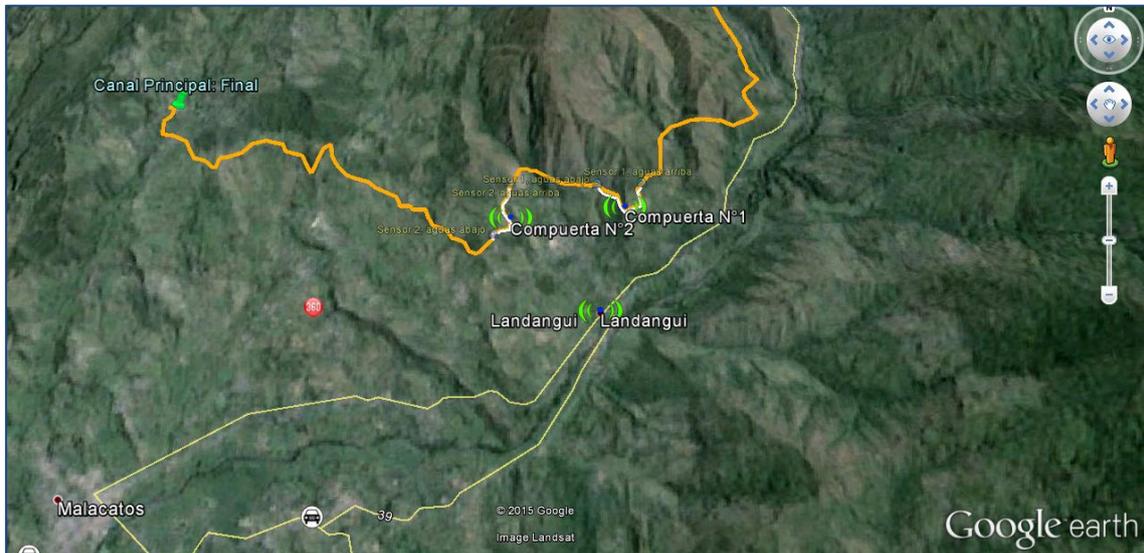


Figura 69. Ubicación de las Estaciones Remotas y la Estación Central. [Autoría propia]

Los elementos y las funciones que conforman las dos Estaciones Remotas serán prácticamente los mismos, en ellas se encontraran distintos elementos que permitirán el control del canal. Desde la Estación Central se realizará el control, monitoreo y planeación del sistema.

f.1.1. Estación Central.

En la Estación Central se ubicarán las oficinas centrales de la administración del canal. Al estar ubicadas en una zona poblada, los regantes pertenecientes al sistema de riego tienen las facilidades de llegar, ya que se encuentra relativamente cerca de las zonas de riego. Además, la Estación Central puede contar con los servicios básicos como por ejemplo el suministro de energía eléctrica y el servicio de telefonía celular y fija, lo que también es una ventaja que se le suma al sistema.

De forma general, los elementos que conformarán a la Estación Central son: los elementos de control, los elementos de comunicación y los elementos de oficina. Los elementos de oficina, no serán tomados como relevantes para la realización de la presente propuesta.

Los elementos de control son los equipos necesarios para realizar el monitoreo y control del sistema automatizado de canales de riego. El principal elemento es el computador que será el servidor del sistema SCADA y el monitor en el que se verá el estado actual del canal.

Dentro de los elementos de comunicación se encontrarán, una torre para las antenas de transmisión, dos antenas airGrid 5M HP, cable UTP categoría 6 y un switch.

Tabla 2. Elementos de la Estación Central.

Elemento y descripción.	Cant.	Precio Unitario.	Total.
Computador Dell Procesador Intel(R) Core(TM) i5- CPU 1,80GHz Memoria RAM de 4GB Sistema operativo Windows 8.1 de 64 bits.	1	620.00	620.00
Monitor de 22 pulgadas HD	1	320.00	320.00
Switch 8 puertos RJ-45 auto-detect, 10/100Mbps	1	14.00	14.00
Antenas airGrid M5 HP modelo: AG-HP-5G23. 5.8GHz Ganancia 23 dBi	2	150.00	300.00
Cable UTP cat.6	40 m.	190 x 300 m. (rollo)	26.00
Torre de transmisión de datos	13 m.	260.00	260.00
		Total	1540.00

f.1.2. Estaciones Remotas.

Las Estaciones Remotas realizarán el trabajo de control en el sistema automatizado de canales de riego. En este lugar se encontrarán las compuertas de control, con sus elementos de monitoreo y accionamiento.

De forma general, los elementos que conformarán a las Estaciones Remotas son: los elementos de control, los elementos de fuerza, los elementos de comunicación, y los elementos del sistema de energía auxiliar.

Dentro de los elementos de control el principal es el Controlador Lógico Programable, que es el responsable de las actividades que se realicen. Otros elementos de control son: los sensores, los contactores, los relés térmicos, los pulsadores, las luces pilotos, etc. Como ambas Estaciones Remotas necesitan el mismo equipo, se duplica la cantidad de equipos.

Tabla 3. Elementos de control de las Estaciones Remotas.

Elemento y descripción.	Cant.	Precio Unitario.	Total.
PLC simatic s7-1200 serie 1212C de la marca Siemens	2	420.00	840.00
Módulo de expansión serie SM 1231 AI4	2	180.00	360.00
Sensores ultrasónicos Rosemount 3101 de Emerson Process Management	6	300.00	1800.00
Contactor de intensidad ajustable para la maniobra del motor	4	25.00	100.00
Relé Térmico para proteger al motor	4	25.00	100.00
Pulsador normalmente abierto para señal de alerta	2	5.00	10.00
Pulsador normalmente cerrado para paro de emergencia	2	5.00	10.00
Relés para accionamiento del sistema de energía convencional y auxiliar	4	12.00	48.00
Luces piloto	4	8.00	32.00
Armario de protección para los equipos.	2	200.00	400.00
		Total	3700.00

Dentro de los elementos de fuerza tenemos al motor que accionará a la compuerta de control, las protecciones eléctricas, la estructura de la compuerta

Tabla 4. Elementos de fuerza de las Estaciones Remotas.

Elemento y descripción.	Cant.	Precio Unitario.	Total.
Motor de 3/4 HP, acoplado a un motoreductor para aumentar su torque y disminuir su velocidad	2	380.00	780.00
Breaker con amperaje ajustable	2	12.00	24.00
Compuerta de control	2	1500.00	3000.00
		Total	7804.00

Para los elementos de comunicación, escogimos antenas directivas de 5.8GHz de la marca Ubiquiti, que serán colocadas en una torre de comunicación de 7 metros.

Tabla 5. Elementos de comunicación de las Estaciones Remotas.

Elemento y descripción.	Cant.	Precio Unitario.	Total.
Antenas airGrid M5 HP modelo: AG-HP-5G23. 5.8GHz Ganancia 23 dBi	2	150.00	300.00
Torre de comunicación	2	300.00	600.00
Cable UTP cat.6	20 m.	190 x 300 m. (rollo)	18.00
		Total	918.00

Los principales elementos para la implementación de un sistema de energía auxiliar son los elementos generadores de la energía, en este caso los paneles solares. También se necesitará otros elementos como baterías, controladores e inversores. Se puede utilizar la torre de comunicación para poder instalar al panel solar en su parte más alta.

Tabla 6. Elementos de la energía auxiliar de las Estaciones Remotas.

Elemento y descripción.	Cant.	Precio Unitario.	Total.
Panel solar de 150 Wp, marca Simax, mono-cristalino, 1482x676x35 mm.	2	240.00	480.00
Controlador para sistema de paneles solares	2	140.00	280.00
Baterías 100Ah, 12V.	4	340.00	1360.00
Inversor Samlex america 1000W	2	700.00	1400.00
		Total	3520.00

Con la suma general de los elementos en las Estaciones Remotas y la Estación Central, se obtuvo un total de inversión de 17 482.00 dólares.

f.1.3. Sistema automatizado.

El funcionamiento del sistema se puede dividir en las funciones que realizan las Estaciones Remotas y la Estación Central. Como ya se ha señalado, en la Estación Central, el director del canal realizará el control y monitoreo del sistema, para ello hará uso del software SCADA Vijeo Citect. El verdadero trabajo se lo realizará en las Estaciones Remotas que se encuentran en el canal principal. Aquí, ejecutarán todas las órdenes que se reciba de la Estación Central. Para ello, cada Estación Remota contará con un Controlador Lógico Programable, que gobernará los demás elementos pertenecientes a la estación. El Controlador Lógico Programable escogido es el PLC SIMATIC S7-1200. La comunicación entre el PLC y el SCADA se lo realizará con radioenlaces. También se contará con un sistema de suministro de energía auxiliar para las Estaciones Remotas, que en la caso de no contar con el suministro eléctrico convencional, permitirá el funcionamiento normal del sistema.

- **SCADA Vijeo Citect.**

Las principales funciones del SCADA Vijeo Citect son la de permitir al operario tener una imagen esquemática del sistema en el que se pueda observar el estado del sistema; y la de realizar el control del canal, manipulando de las variables o ejecutando las órdenes que se dé. Existen algunas funciones extras que permiten que el sistema mejor o que incluso incremente los servicios que presta, como por ejemplo, los sistemas de alarmas, históricos, etc.

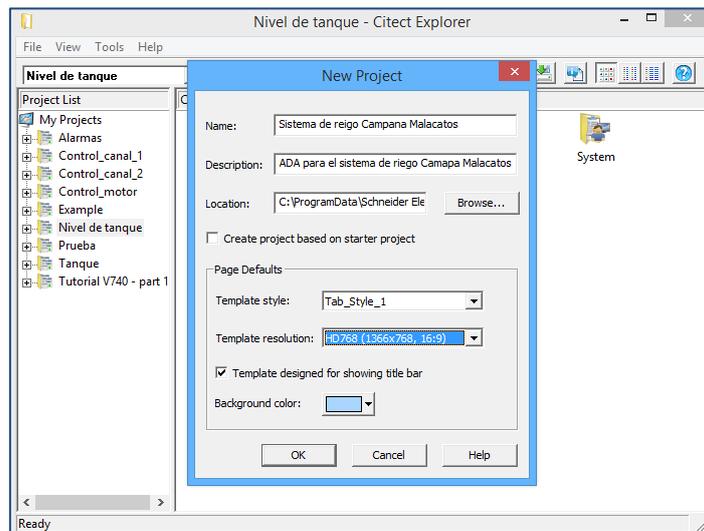


Figura 70. Diseño del SCADA para la automatización del sistema de riego Campana Malacatos. [Autoría propia]

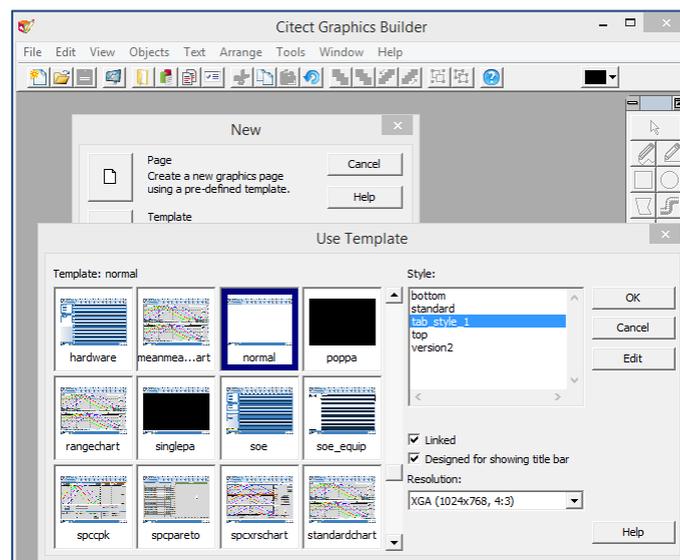


Figura 71. Se crea el grupo de trabajo, la red, se levanta los servidores de alarmas, tendencias, reportes, etc.

Se empieza a editar los contenidos del SCADA, se tiene énfasis en desarrollar una presentación que sea fácil de comprender a simple vista, para que los operarios del sistema se puedan familiarizar con él.



Figura 72. Captura del funcionamiento del SCADA Vijeo Citect. [Autoría propia]

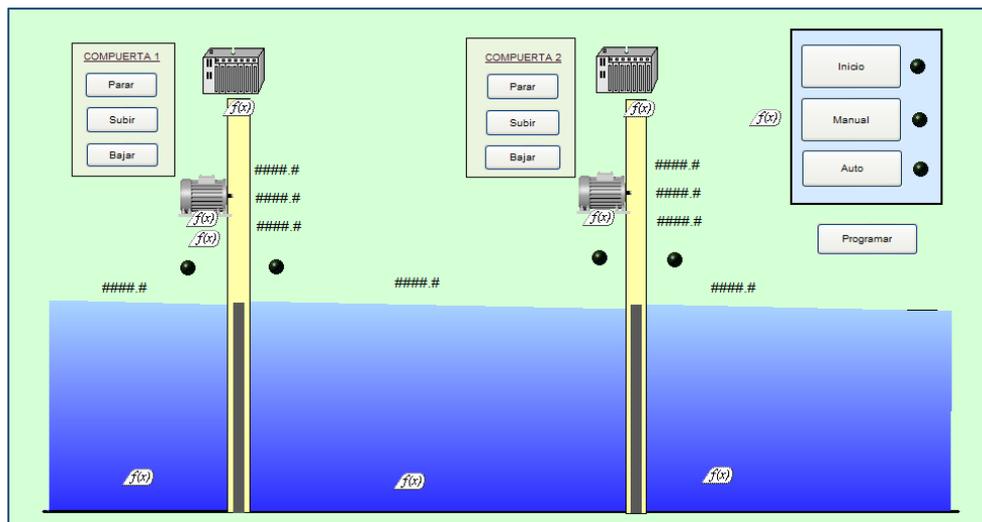


Figura 73. Edición del sistema SCADA Vijeo Citect. [Autoría propia]

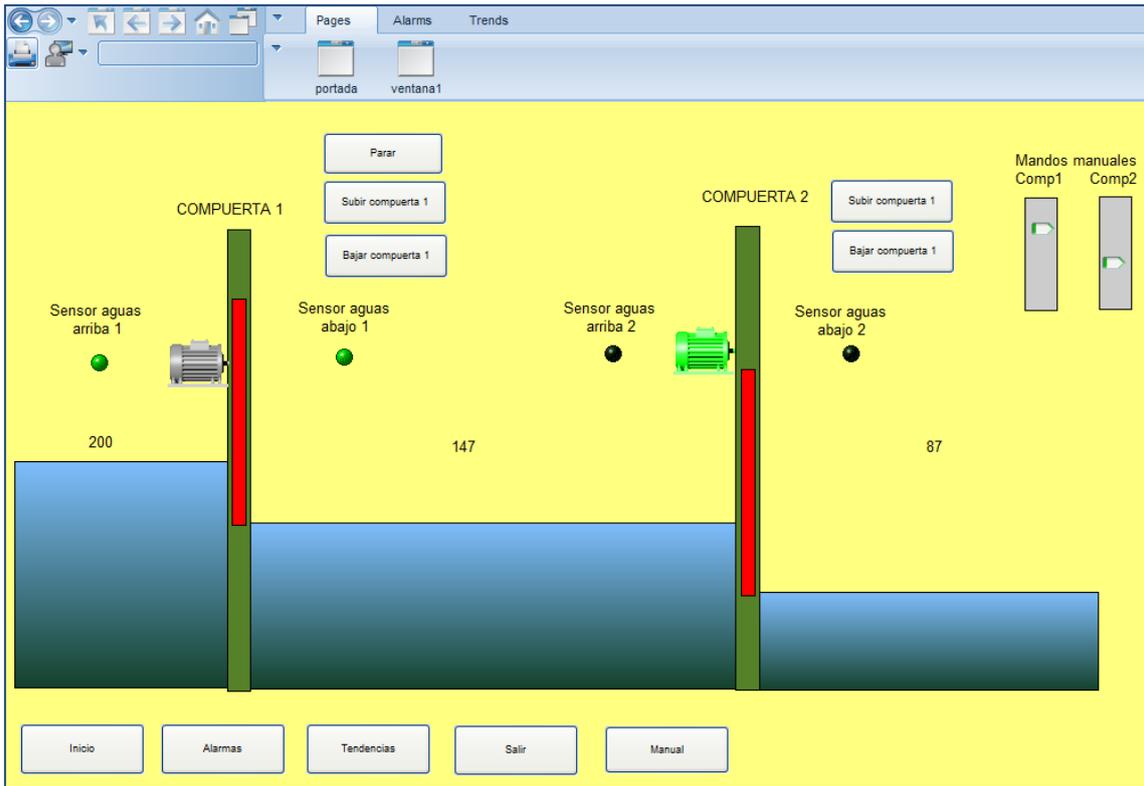


Figura 74. Sistemas SCADA, control de compuertas. [Autoría propia]

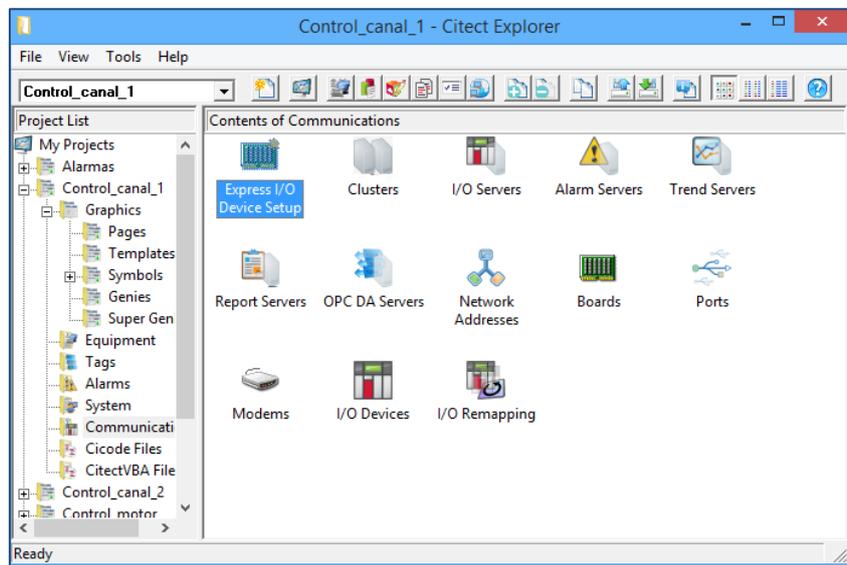


Figura 75. Editor principal de Vijeo Citect. [Autoría propia]

- **Controlador lógico programable.**

El Controlador lógico programable será el encargado de controlar todos los elementos de la Estaciones Remotas, el PLC recibirá las señales de los sensores ultrasónicos de nivel, monitoreará y activará el sistema de energía auxiliar, recibirá y enviará información a la Estación Central, pero sobretodo, estará a cargo del accionamiento de la compuerta de control.

El PLC escogido es el SIMATIC S7-1200 de Siemens, cuenta con 8 entradas y 6 salidas digitales. Las entradas y salidas digitales del PLC se usarán de la siguiente forma:

Entradas:			Salidas:		
Dirección	DI	Nombre	Dirección	DO	Nombre
	.0	Paro		.0	compuerta_abajo
	.1	termico		.1	compuerta_arriba
	.2	señal_alerta		.2	activ_paneles
	.3	Energia_conven		.3	activ_convencional
	.4	Energia_panel		.4	Falla_elctrica_conv
				.5	Emergencia

De esta forma, si se presenta un caso de emergencia, podemos accionar el botón normalmente cerrado, conectado a la entrada “paro”, para que el sistema se detenga por completo y envíe un mensaje de emergencia a la Estación Central. La entrada “termico” será una protección del motor. Si se presenta alguna anomalía pero que no represente una caso de emergencia se puede accionar el botón “señal_alerta”, que no detendrá el funcionamiento del sistema pero que si informará a la Estación Central de que existe algún inconveniente. Las entradas de “Energía_conven” y “Energía_panel”, servirán para determinar el correcto funcionamiento de los sistemas de energía eléctrica convencional y el auxiliar de paneles solares. La programación ya fue descrita en el Capítulo 4.5.

Las salidas fueron escogidas de esta forma para que las primeras salidas digitales, “compuerta_abajo” y “compuerta_arriba”, sean las encargadas de maniobrar el motor de la compuerta de control, abriéndola o cerrándola. Las siguientes salidas, “activ_convencional” y “activ_paneles”, serán las encargadas de conectar el sistema a la energía convencional o al sistema de energía auxiliar con paneles solares. Las últimas dos salidas, son para el accionamiento de luces piloto que señalen un desperfecto con el suministro de energía o que se tenga accionado el paro de emergencia.

Entradas analógicas:

Dirección	Nombre
AI. .0	sensora_a_arriba
AI. .1	sensora_a_abajo
AI. .2	sensora_compuerta

Para el manejo de las señales analógicas de entrada, provenientes de los sensores de nivel, se agregará un módulo de señales de entrada analógicas. El módulo expansión escogido es el SM 1231 AI4, que permite tener 4 entradas analógicas extras en el PLC. La señal proveniente de los sensores tendrá que ser escalada para su manejo en el sistema. La programación del PLC se mostró en el Capítulo 4.5.

Para el accionamiento del motor se utilizó dos contactores que al enclavarse uno a la vez, nunca los dos al mismo tiempo, de acuerdo a la programación del PLC determinan la dirección de giro del motor y si el panel de la compuerta sube o baja. El accionamiento del motor de la compuerta se lo muestra en el Capítulo 4.5.

- **Sistema de comunicación.**

Para poder realizar la comunicación entre el SCADA y el PLC, se utilizó dos radioenlaces, uno para cada Estación Remota. La comunicación entre el SCADA y el PLC se la podría realizar directamente con la ayuda de un cable Ethernet conectado entre el servidor y el PLC, el radioenlace lo que hace es reemplazar este cable para cubrir la distancia entre la Estación Central y la Estación Remota.

Los equipos escogidos para realizar el sistema de comunicación son las antenas airGrid M5 HP de la marca Ubiquiti, modelo: AG-HP-5G23. Trabajan en las frecuencias de 5.8GHz con una ganancia 23 dBi.

Las Estaciones Remotas contarán con una torre de comunicación que permitirán tener sus antenas a una altura de 7 metros. Por otro lado, la Estación Central al estar ubicada en un lugar poblado, puede hacer uso de las terrazas de las casas del lugar y alcanzar alturas mayores, se estima que las antenas estarán a una altura de 12 y 13 metros.

Para evitar interferencias entre los dos sistemas, un radioenlace transmitirá en polarización vertical y el otro en horizontal. Ambos radioenlaces tienen línea de vista, lo que es importante para los radioenlaces en esta frecuencia.

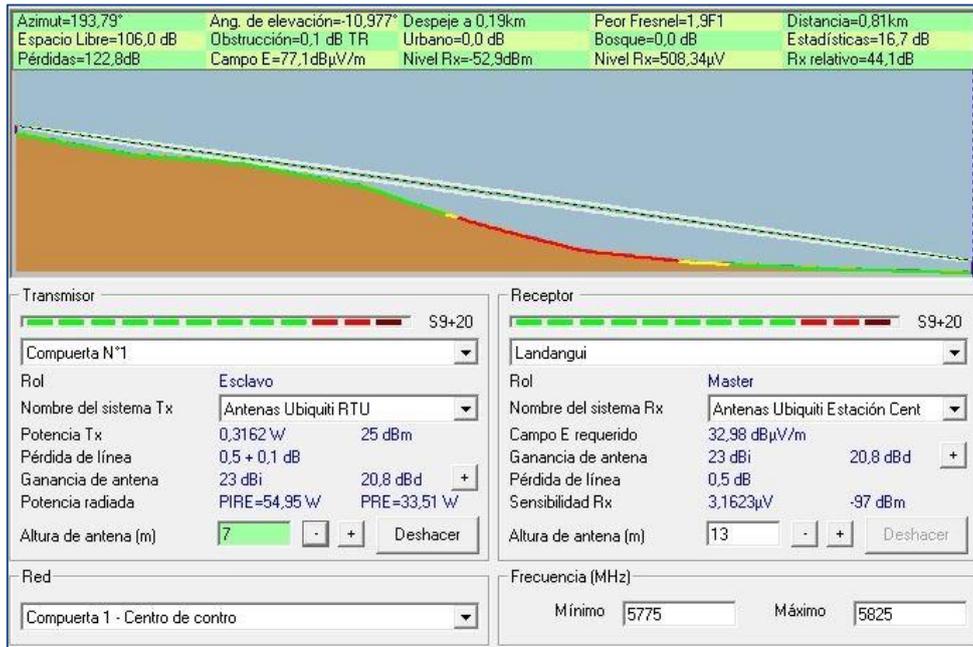


Figura 76. Radioenlace entre la Estación Remota 1 y la Estación Central. [Autoría propia]

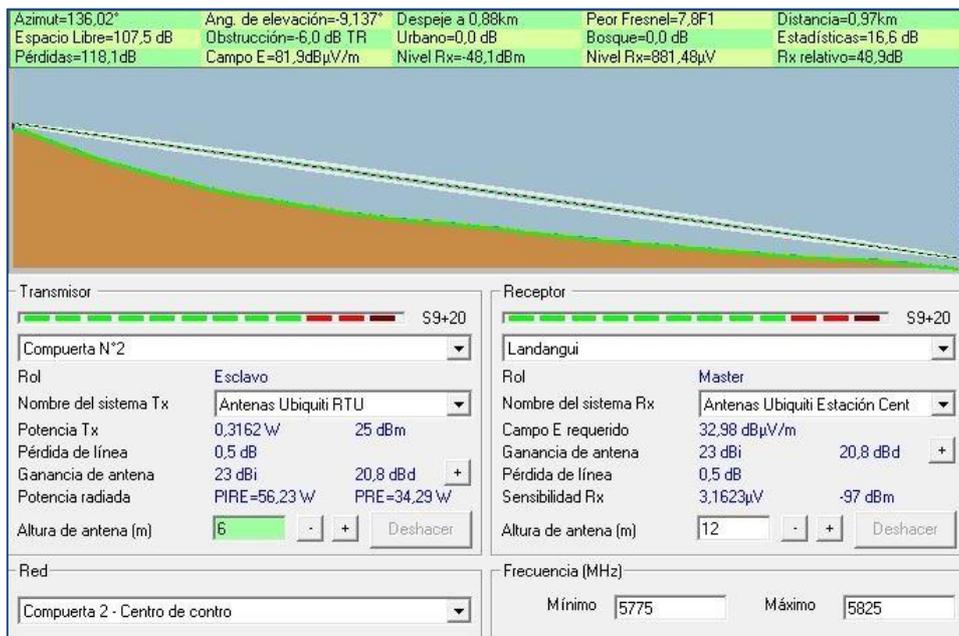


Figura 77. Radioenlace entre la Estación Remota 2 y la Estación Central. [Autoría propia]

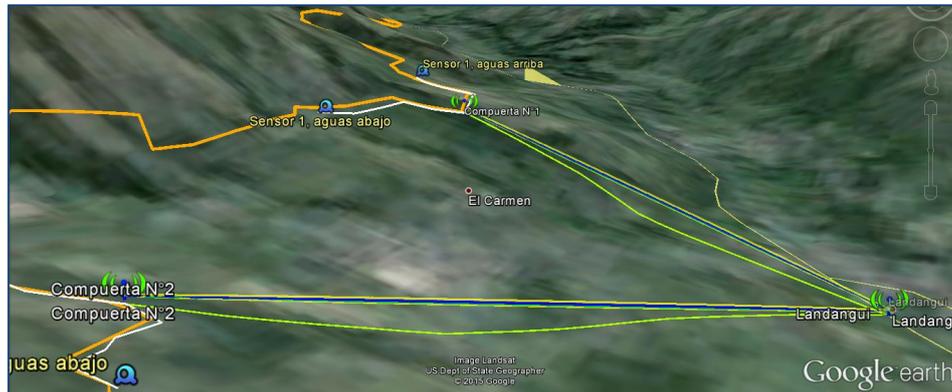


Figura 78. Simulación del sistema de comunicación. [Autoría propia]

En el aspecto legal, este sistema de comunicación debe solicitar la concesión de las frecuencias a la Agencia de Regulación y Control de la Telecomunicaciones. Para realizarlo, se deben llenar algunos formularios que la Agencia presenta en su página Web. Más características de los equipos, de los radioenlaces y del sistema de comunicación en general se encuentran el Capítulo 4.5.

- **Sistema de energía auxiliar.**

Cada Estación Remota contará con un sistema de paneles solares como sistema de energía auxiliar, aprovechando las condiciones climáticas del lugar. La principal carga eléctrica en las Estaciones Remotas es la compuerta motorizada, que cuenta con un motor de 560 W, las demás cargas no representan gran demanda, en comparación a esta.

Debido a la naturaleza del sistema, el trabajo que realizará el motor de la compuerta, difícilmente excederá la hora de trabajo al día. Un panel solar genera energía de 3 a 4,5 horas al día, en promedio. Por lo que se necesitará de un panel solar de 150 Wp., obteniendo en un día de 4 horas de carga solar, 600 Wh, suficientes para cumplir con las necesidades de funcionamiento del motor de la compuerta.

El sistema auxiliar de energía estará compuesto por los siguientes elementos:

- Un panel solar con celdas monocristalinas de marca Simax SM636-150, de 150 Wp. a 12 voltios.

- Un controlador Morningstar SunSaver SS de 12 voltios y 20 amperios.
- Dos baterías de 12 V., 100 Ah.
- Un inversor Samlex america 1000W, de 1000 W en trabajo nominal y de 2000 W_p, con salida de 220 voltios de corriente alterna.

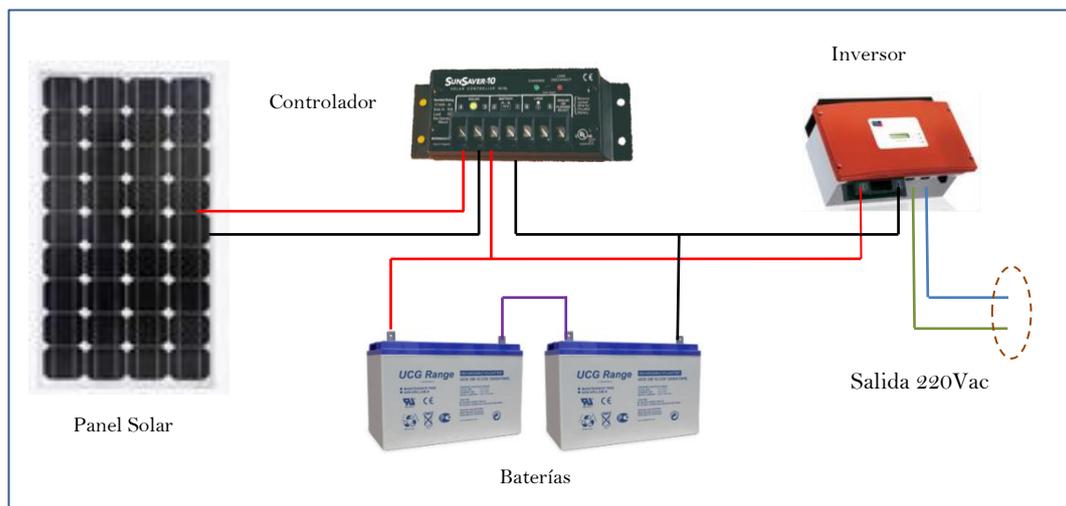


Figura 79. Esquema del sistema de energía auxiliar con paneles solares. [Autoría propia]

g. DISCUSIÓN.

Los sistemas de canales de riego tienen como objetivo transportar el agua desde la bocatoma del sistema hasta las redes de distribución y las parcelas finales en donde se realiza la actividad agrícola. Las grandes distancias que recorre el sistema de canales de riego, hace que la complejidad del control del sistema aumente, volviéndose casi imposible brindar un buen servicio a la comunidad regante del sistema. Con la ayuda de la automatización se busca mejorar esta situación.

El objetivo del control automatizado del canal de riego es describir los pasos necesarios para garantizar el nivel y flujo de agua requerido para solventar las necesidades de la comunidad regante. Desde la bocatoma hasta las redes de distribución, el agua pasa por distintos elementos de control, que permiten mantener al sistema de canales estable.

El actual funcionamiento del sistema se lo realiza con ayuda de canaeros que tiene que cubrir grandes distancias para llegar a los elementos de control y realizar las maniobras requeridas. Este método presenta grandes retardo, además de no poder constatar con mediciones en tiempo real para determinar que la operación se realizó con éxito. Con la automatización de los canales, se puede realizar las acciones de control en las compuertas de manera inmediata y se puede monitorear los resultados en las zonas de requeridas.

Los sistemas de canales de riego están compuestos por un canal principal, que tiene su inicio en la bocatoma del sistema, y los canales secundarios y terciarios que se crean como ramificaciones del canal principal y llegan hasta las zonas de cultivo. Las compuertas de control se encuentran a lo largo del canal principal, permitiendo mantener la estabilidad del sistema, evitando dejar sin el líquido a los miembros del canal, y de igual forma, evitando que se produzcan desbordamiento del agua que pueda causar daños al canal o a sus alrededores. Por tal motivo, la automatización del sistema de canales de riego debe realizarse a lo largo del canal principal.

El sistema de automatización escogido contará con una Estación Central y dos Estaciones Remotas. Desde la Estación Central se realizará el control y monitoreo del sistema, en este lugar trabajará el director del canal y determinará las acciones que se deban realizar en el sistema. Las Estaciones Remotas serán las encargadas de ejecutar las órdenes de la Estación Central y se ubicarán dentro del área de trabajo, a lo largo del canal principal. Se ha determinado al poblado

“Landangui” como el mejor sitio para ubicar la Estación Central, siendo un lugar de fácil acceso y que cuenta con los servicios básicos facilitando la labor del director del canal. La ubicación de las Estaciones Remotas se ha escogido, de modo que facilite el diseño del sistema, colocándolos cerca del poblado “El Carmen”.

Dentro del sistema de automatización se encuentran distintos sistemas, como el sistema SCADA, el sistema de Comunicación, el sistema de automatización con Controladores Lógicos Programables y el sistema de Energía Auxiliar.

El sistema SCADA es el elemento principal del sistema de automatización de canales de riego, éste sistema permite controlar, monitorear y supervisar los sucesos que se presente en el sistema, desde una Estación Central. Las Estaciones Remotas que se encontrarán dentro de las áreas de trabajo, contarán con un Controlador Lógico Programable, o PLC, que ejecutará todas las tareas programadas y órdenes enviadas desde la Estación Central. El PLC será el encargado de controlar todos los elementos que se encuentre conectados en la Estación Remota, de acuerdo a su programación y a las órdenes recibidas, el PLC accionará a la compuerta de control del sistema.

Se necesitará de un sistema de comunicación para conectar las Estaciones Remotas con la Estación Central, para ello se diseñó un sistema de comunicación por medio de radioenlaces que permitirán enviar y recibir datos necesarios para el correcto funcionamiento del sistema.

Las Estaciones Remotas, al encontrarse en las áreas de trabajo, alejadas de los sistemas básicos, tendrá el inconveniente de no siempre contar con el suministro de energía convencional, para ello, se diseñó un sistema de energía auxiliar con paneles solares que le dará la autonomía necesaria para que la Estación Remota pueda trabajar con normalidad.

Luego del análisis de las características propias del sistema de canales de riego, se diseñó un sistema que cumple con los requerimientos y las exigencias presentes.

h. CONCLUSIONES.

Las conclusiones principales que se han obtenido del presente trabajo son las siguientes:

- Se realizó el estudio para la automatización del sistema de canales de riego del sector Campana Malacatos, que ayude a mejorar los servicios que presta. El sistema automatizado permitirá realizar las acciones de control y monitoreo del canal principal. Desde una Estación Central ubicada en el sector de “Landangui” se controlará dos Estaciones Remotas ubicada en el canal principal, para ello se diseñó un sistema de comunicación con radioenlaces, un sistema de energía auxiliar, la programación de Controladores Lógicos Programables, el diseño de un sistema SCADA, entre elementos.
- Se investigó los elementos, clasificación y componentes que constituyen un sistema de automatización. Se observó que existen distintos niveles de automatización, sobre todo en sistemas de canales de riego, que representan mayor o menor complejidad e inversión económica.
- Se revisó la situación actual del sistema de riego Campana Malacatos. Se pudo conocer su organización, como se encuentra dividida su comunidad regante, las dimensiones del canal principal y secundario, la ubicación de la bocatoma que da inicio al sistema, los principales productos agrícolas, entre otras características; información que contribuyó al correcto dimensionamiento y diseño de la propuesta de automatización para el sistema.
- Se investigó sobre los sistemas de automatización que se usan actualmente en la Industria agrícola de otros países. Se observó como en otros países la implementación de la tecnología ha mejorado los servicios que prestan los sistemas de canales de riego. Para el caso de los sistemas de canales de riego de la provincia de Loja, la mayoría de

estas aplicaciones puede tener gran acogida, aprovechando las características propias del lugar, por ejemplo, incorporar sistemas de energía con paneles solares.

- Se desarrolló un sistema automatizado de canales de riego que puede ser susceptible a modificaciones para poder incorporarse a las características de otros sistemas. Por ejemplo, se puede incrementar el número de Estaciones Remotas para sistemas de canales más extensos. El diseño de las Estaciones Remotas que se presentó cuenta con la independencia requerida para colocarse en lugares de difícil acceso y con distintas características.
- Se presentó un presupuesto tentativo de los gastos que implicaría la modernización del sistema de canales de riego en el sector Campana Malacatos. se obtuvo un total de inversión de 17 482.00 dólares. En este presupuesto se tomó en cuenta elementos muy importantes como los pertenecientes al sistema de comunicación o de energía auxiliar.

i. RECOMENDACIONES.

- Para futuros trabajos relacionados con los sistemas de automatización de canales de riego es necesario revisar varias alternativas actuales a usar, tanto en equipos como en tecnologías, para concluir con la más adecuada para las necesidades de cada sistema, en función de los requerimientos actuales y futuros, así como también en su entorno social, ambiental y económico.
- Es importante analizar, investigar y comparar los diferentes tipos de equipos y medios que se pueden incorporar a un sistema automatizado de canales de riego, para en función de estos parámetros diseñar un mejor sistema que se adapte a los requerimientos de la comunidad regante del sector y a las características del sistema.
- Según las necesidades de la comunidad regante, se podría analizar el incrementar los servicios del sistema de automatización y poder agregar funciones como el análisis químico de las aguas del sistema, la preparación del líquido con la utilización de fertilizantes, la facturación de acuerdo al volumen del líquido utilizado en los cultivos, entre otros.
- El presente trabajo investigativo podría ser extendido y concluido con la implementación del sistema, el principal inconveniente es el factor económico. Debería realizarse la consulta directamente a la comunidad regante, de cuanto estaría dispuesto a aportar para que se implemente este sistema automatizado.
- Se podría tener un mayor nivel de automatización que el señalado en el presente trabajo, para conseguirlo, se necesitaría de la recolección de datos que permitan encontrar la función característica que describir el sistema y así poder obtener una mayor optimización del recurso hídrico.

- El manejo de los sistemas de riego por canales requiere conocimientos en distintas ramas de la ingeniería, por lo que se recomienda que se incorpore personal especializado en manejo de canales, caudales, oferta y demanda del líquido; en el campo de la agricultura, como características de los sembríos, de los suelos de cultivo, etc.

j. BIBLIOGRAFÍA.

- [1] Subsecretaría de Riego y Drenaje, Plan Nacional de Riego y Drenaje 2011 - 2026, Quito, 2011.
- [2] A. Zapatta y P. Gasselin, El riego en el Ecuador: problemática, debate y políticas, Quito: CAMAREN, 2005.
- [3] L. Santos, M. Picornell, T. José y J. Juan Valero, El Riego y sus Tecnologías, Albacete: CREA-UCLM, 2010.
- [4] VYR, «VYR Riego Eficiente por un mundo Sostenible,» VYR, 2014. [En línea]. Available: <http://www.vyrsa.com/catalogo/agricultura/aspersores-medio-caudal/vyr-36.aspx?altTemplate=ImprimirProducto>. [Último acceso: 10 febrero 2015].
- [5] INTA, «INTA Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria,» INTA, 4 Agosto 2012. [En línea]. Available: <http://inta.gob.ar/noticias/capacitacion-de-riego-por-goteo-para-la-agricultura-familiar/>. [Último acceso: 10 Febrero 2015].
- [6] C. Lapo, «Diseño óptimo de sistemas de reigo a presión y su eficiencia Hidro-Energética. Aplicación en el caso de Loja (Ecuador),» Universidad Politécnica de Valencia, Valencia, 2012.
- [7] C. P. Buyalski, D. G. Ehler, H. T. Falvey, D. C. Rogers y E. A. Serfozo, Canal Systems Automation Manual, Volumen I, vol. I, Denver, 1991.
- [8] RiegoSalz, S.L., «RiegoSalz,» RiegoSalz, 2013. [En línea]. Available: <http://riegosalz.com/nuestras-instalaciones>. [Último acceso: 10 Febrero 2015].
- [9] E. Pedroza y G. Hinojosa, Manejo y distribución del agua en distritos de riego. Breve introducción didáctica., México, D.F.: Instituto Mexicano de Tecnología del Agua., 2013.
- [10] P. Daneri, PLC: Automatización y Control Industrial., Hispano Americana HASA, 2008.

- [11] Siemens S.A., «Siemens,» 2014. [En línea]. Available: https://w5.siemens.com/spain/web/es/industry/automatizacion/sce_educacion/documentacion/Documents/SIMATIC%20S71200R.pdf. [Último acceso: 20 Febrero 2015].
- [12] J. Balcells y J. Romeral, *Autómatas Programables*, Barcelona: Marcombo, 1997.
- [13] A. Ruiz y J. Molina, *Automatización y telecontrol de sistemas de riego*, Barcelona: MARCOMBO S.A., 2010.
- [14] A. Castro, «Sensores utilizados en la Automatización Industrial,» Universidad de Costa Rica: Facultad de Ingeniería., 2008.
- [15] J. Gómez, *Temas Especiales de Instrumentación y Control*, La Habana: Editorial Félix Varela, 2008.
- [16] Banner, «Banner Engineer,» 2015. [En línea]. Available: <http://info.bannerengineering.com/cs/groups/public/documents/literature/sd054.pdf>. [Último acceso: 20 Febrero 2015].
- [17] A. Rodríguez, *Sistemas SCADA*, Barcelona: MARCOMBO, S.A., 2007.
- [18] D. Rogers, D. Ehler, H. Falvey, E. Serfozo, P. Voorheis, R. Johansen, R. Arrington y L. Rossi, *Canal Systems Automation Manual*, A Bureau of Reclamation Technical Publication Volumen 2, Denver: United States Department of the Interior, 1995.
- [19] RIDRENSUR, E.P; Empresa de Riego y Drenaje del Sur, «FICHA TÉCNICA PARA INVESTIGACIÓN DE CAMPO PARA SISTEMAS DE RIEGO PÚBLICO,» Loja, 2014.
- [20] D. Bravo y A. Moreno, «Planeación de los Recursos Hídricos, del Sistema de Riego Campana - Malacatos, utilizando Sistemas de Información Geográfica, SIG.,» Universidad Nacional de Loja, Loja, 2007.
- [21] K. Gómez y V. Ordoñez, «Evaluación y Plan de Manejo Ambiental en el Sistema de Riego Campana-Malacatos,» Universidad Nacional de Loja, Loja, 2007.

- [22] Emerson Process Management, SL, «Transmisores ultrasónicos Rosemount 3101, 3102 y 3105 para medida de nivel de líquido,» Emerson Eléctric Co., Madrid, 2013.
- [23] Siemens, «Siemens México,» 2009. [En línea]. Available: <http://industria.siemens.com.mx/Motores/Docs/Motores%20NNM.pdf>. [Último acceso: 12 Marzo 2015].
- [24] Ubiquiti Colombia, «Macrotics Colombia Proveedores de Tecnología,» Macrotics Colombia, 23 Enero 2013. [En línea]. Available: <http://www.ubiquiticolombia.com/ubiquiti-airgrid-m5-hp-23dbi/>. [Último acceso: 23 Mayo 2015].
- [25] Schneider Electric, «Quick-Start Tutorial. An introduction to the basics of Vijeo Citect,» Schneider Electric, Macquarie Park NSW, Australia, 2013.

k. ANEXOS.

ANEXO I: Sistema de comunicación.

airGrid™ M
 Datasheet

Models

airGrid M5 HP

Model: AG-HP-5G23

- Worldwide: 5170 – 5875 MHz
- India: 5825 – 5875 MHz
- USA: 5725 – 5850 MHz
- 23 dBi
- Antenna Size: 370 x 270 mm



Front View



Side View

Specifications

System Information	
Processor Specs	Atheros MIPS 24KC, 400 MHz
Memory Information	32 MB SDRAM, 8 MB Flash
Networking Interface	(1) 10/100 Ethernet Port
Regulatory / Compliance Information	
Wireless Approvals	FCC Part 15.247, IC RS210, CE
RoHS Compliance	Yes
Physical / Electrical / Environmental	
Enclosure Characteristics	Outdoor UV Stabilized Plastic
Mounting Kit	Pole Mounting Kit (Included)
Max. Power Consumption	3 W
Power Supply	24V, 0.5A PoE Adapter (Included)
Power Method	Passive Power over Ethernet (Pairs 4, 5+; 7, 8 Return)
Operating Temperature	-30 to 75° C
Operating Humidity	5 to 95% Condensing
Shock and Vibration	ETSI300-019-1.4
ETSI Specification	EN 302 326 DN2

airGrid™ M5HP

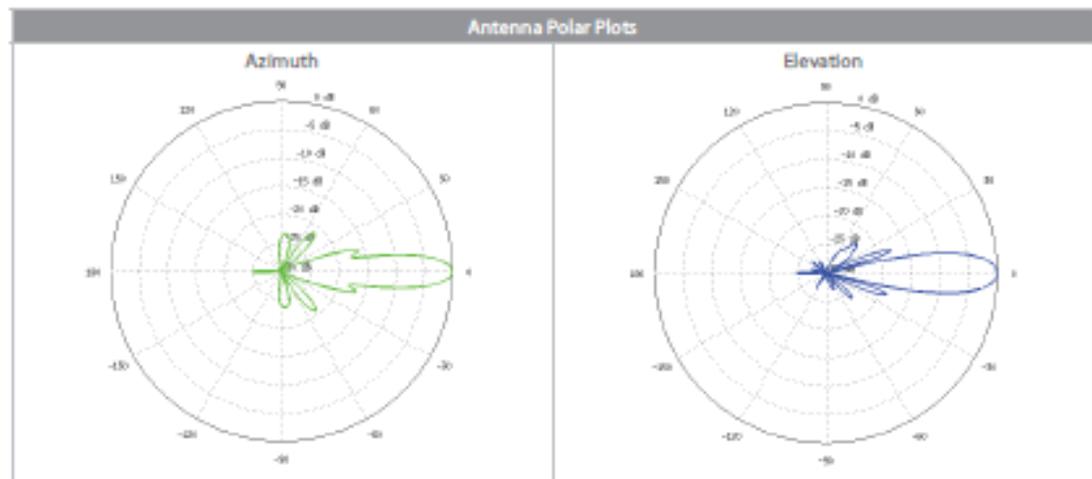
Model: AG-HP-5G23



AG-HP-5G23 Specifications	
Dimensions	370 x 270 x 260 mm (Mount Included)
Weight	1452 g (Mount Included)
Wind Survivability	125 mph
Wind Loading	8 lbf @ 125 mph

Antenna / Radio Information	
Operating Frequency	Worldwide: 5170 – 5875 MHz USA: 5725 – 5850 MHz
Output Power	25 dBm
Max. VSWR	1.5:1
Gain	23 dBi

TX Power Specifications				RX Power Specifications			
Modulation	Data Rate	Avg. TX	Tolerance	Modulation	Data Rate	Sensitivity	Tolerance
11a	1 - 24 Mbps	25 dBm	± 2 dB	11a	1 - 24 Mbps	-97 dBm min.	± 2 dB
	36 Mbps	24 dBm	± 2 dB		36 Mbps	-90 dBm	± 2 dB
	48 Mbps	22 dBm	± 2 dB		48 Mbps	-86 dBm	± 2 dB
	54 Mbps	21 dBm	± 2 dB		54 Mbps	-84 dBm	± 2 dB
11n / airMAX	MCS0	25 dBm	± 2 dB	11n / airMAX	MCS0	-97 dBm	± 2 dB
	MCS1	25 dBm	± 2 dB		MCS1	-96 dBm	± 2 dB
	MCS2	25 dBm	± 2 dB		MCS2	-93 dBm	± 2 dB
	MCS3	24 dBm	± 2 dB		MCS3	-91 dBm	± 2 dB
	MCS4	23 dBm	± 2 dB		MCS4	-87 dBm	± 2 dB
	MCS5	22 dBm	± 2 dB		MCS5	-84 dBm	± 2 dB
	MCS6	21 dBm	± 2 dB		MCS6	-78 dBm	± 2 dB
	MCS7	19 dBm	± 2 dB		MCS7	-75 dBm	± 2 dB



ANEXO II: Formularios.

La Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones (ARCOTEL) ha establecido los formularios necesarios para el trámite correspondiente a la concesión de frecuencias. Para el caso de radioenlaces, tenemos varios formularios que debemos llenar, estos formularios se los puede descargar desde la página de la ARCOTEL: <http://www.arcotel.gob.ec/formularios-fijo-movil-terrestre/>

 Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones	FORMULARIO PARA INFORMACIÓN LEGAL	RC – 1A Elab.: DRE Versión: 02 1) Cod.Cont.:	
SOLICITUD:			
2) OBJETO DE LA SOLICITUD:	(C) <u>C</u> ONCESION <u>R</u> ENOVACION <u>M</u> ODIFICACION FRECUENCIAS <u>T</u> EMPORALES		
3) TIPO DE USO DE FRECUENCIAS:	(PR) USO- <u>P</u> RV USO- <u>C</u> OM USO- <u>E</u> XP USO- <u>R</u> ES USO- <u>S</u> OC		
4) TIPO DE SISTEMA:	(PR) <u>P</u> RIVADO <u>E</u> XPLOTAION		
5) SERVICIO:	(ER) FM- <u>R</u> DV FM- <u>S</u> B FM- <u>R</u> A F- <u>E</u> R FMS- <u>F</u> S FMS- <u>M</u> S FM- <u>T</u> R		
DATOS DEL SOLICITANTE Y PROFESIONAL TECNICO:			
6) PERSONA NATURAL O REPRESENTANTE LEGAL			
APELLIDO PATERNO: Torres	APELLIDO MATERNO: Bustamante	NOMBRES: Vicente	Ci:
7) CARGO: Gerente General de la Empresa Pública RIDRENSUR			
PERSONA JURIDICA			
8) NOMBRE DE LA EMPRESA: RIDRENSUR, Empresa Pública de Riego y Drenaje del Sur			
9) ACTIVIDAD DE LA EMPRESA: Encargado del manejo del recurso hídrico de la provincia de Loja.			RUC:
10) DIRECCION			
PROVINCIA: Loja	CIUDAD: Loja	DIRECCION: José Antonio Eguiguren entre Bernardo Valdivieso y Bolívar	
e-mail: info@prefecturaloja.gob.ec		CASILLA:	TELEFONO / FAX: 072570234 ext.7001
11)			

CERTIFICACION DEL PROFESIONAL TECNICO (RESPONSABLE TECNICO)

Certifico que el presente proyecto técnico fue elaborado por el suscrito y asumo la responsabilidad técnica respectiva

APELLIDO PATERNO: Maldonado	APELLIDO MATERNO: Pineda	NOMBRES: Diego Fernando	LIC. PROF.:
e-mail: dfmaldo@gmail.com	CASILLA:		TELEFONO / FAX: 072579441
DIRECCION (CIUDAD, CALLE Y No.): José Antonio Eguiguren y Epiclachima		FECHA: 31 de julio de 2015	_____ FIRMA
¹²⁾ CERTIFICACION DE LA PERSONA NATURAL, REPRESENTANTE LEGAL O PERSONA DEBIDAMENTE AUTORIZADA Certifico que el presente proyecto técnico fue elaborado acorde con mis necesidades de comunicación			
NOMBRE: Vincete Torres Bustamante		FECHA: 31 de julio de 2015	_____ FIRMA
¹³⁾ OBSERVACIONES: En el formulario para la Información Legal, existen datos pertenecientes a la empresa que no están presentes.			
¹⁴⁾ PARA USO DE LA ARCOTEL			
SOLICITUD SECRETARIO NACIONAL ()	CONSTITUCIÓN DE LA CIA. ()	NOMB. REPRESENTANTE LEGAL ()	CUMP. SUPER BANCOS O CIAS. ()
REGISTRO UNICO CONTRIBUY. ()	FE PRESENTACION CC.FF.AA. ()	CERT. NO ADEUDAR SNT ()	CERT. NO ADEUDAR SUPTTEL ()

	FORMULARIO PARA INFORMACION DE LA INFRAESTRUCTURA DEL SISTEMA DE		RC – 2A	
	RADIOCOMUNICACIONES		Elab.: DRE	
			Versión: 02	
			1) Cod. Cont.:	
ESTRUCTURA DEL SISTEMA DE RADIOCOMUNICACIONES				
2) ESTRUCTURA 1				
TIPO DE ESTRUCTURA DE SOPORTE: Empotramiento en una edificación			ALTURA DE LA ESTRUCTURA s.n.m. (m):1546	
CODIGO DE REGISTRO DE LA ESTRUCTURA:S1			ALTURA DE LA ESTRUCTURA (BASE-CIMA) (m):13	
3) UBICACION DE LA ESTRUCTURA:				
PROVINCIA	CIUDAD / CANTON	LOCALIDAD/CALLE y No.	UBICACION GEOGRAFICA (WGS84)	
			LATITUD (S/N) (04°) (12') (22,2") (S)	LONGITUD (W) (79°) (13') (33,9") (W)
Loja	Loja/Parroquia Malacatos	Barrio Landangui		
4) PROTECCIONES ELECTRICAS A INSTALAR EN LA ESTRUCTURA:				
PUESTA A TIERRA SI (X) NO ()		PARARRAYOS SI () NO (X)		
OTROS (Describe):				
5) TIPO DE FUENTE DE ENERGIA A UTILIZAR:				
LINEA COMERCIAL (X)	GENERADOR ()	BANCO DE BATERIAS ()	EXISTE RESPALDO SI () NO (X)	
TIPO DE RESPALDO				
GENERADOR ()	BANCO DE BATERIAS ()	UPS ()	OTRO: _____	
6) PROPIETARIO DE LA ESTRUCTURA:				
2) ESTRUCTURA 2				
TIPO DE ESTRUCTURA DE SOPORTE: Torre autosoportada			ALTURA DE LA ESTRUCTURA s.n.m. (m):1708,7	
CODIGO DE REGISTRO DE LA ESTRUCTURA:S2			ALTURA DE LA ESTRUCTURA (BASE-CIMA) (m):7	
3) UBICACION DE LA ESTRUCTURA:				
PROVINCIA	CIUDAD / CANTON	LOCALIDAD/CALLE y No.	UBICACION GEOGRAFICA (WGS84)	
			LATITUD (S/N) (04°) (11') (56,8") (S/N)	LONGITUD (W) (79°) (13') (27,7") (W)
Loja	Loja/Parroquia Malacatos	Barrio El Carmen		
4) PROTECCIONES ELECTRICAS A INSTALAR EN LA ESTRUCTURA:				
PUESTA A TIERRA SI (X) NO ()		PARARRAYOS SI () NO (X)		
OTROS (Describe):				
5) TIPO DE FUENTE DE ENERGIA A UTILIZAR:				
LINEA COMERCIAL (X)	GENERADOR ()	BANCO DE BATERIAS ()	EXISTE RESPALDO SI (X) NO ()	
TIPO DE RESPALDO				
GENERADOR ()	BANCO DE BATERIAS ()	UPS ()	OTRO: Paneles solares _____	
6) PROPIETARIO DE LA ESTRUCTURA: RIDRENSUR, EP				
2) ESTRUCTURA 3				
TIPO DE ESTRUCTURA DE SOPORTE: Torre autosoportada			ALTURA DE LA ESTRUCTURA s.n.m. (m):1707,2	
CODIGO DE REGISTRO DE LA ESTRUCTURA:S3			ALTURA DE LA ESTRUCTURA (BASE-CIMA) (m):7	
3) UBICACION DE LA ESTRUCTURA:				
PROVINCIA	CIUDAD / CANTON	LOCALIDAD/CALLE y No.	UBICACION GEOGRAFICA (WGS84)	

			LATITUD (S/N) (04°) (11') (59,7") (S)	LONGITUD (W) (79°) (13') (55,7") (W)
Loja	Loja/Parroquia Malacatos	Barrio El Carmen		
4) PROTECCIONES ELECTRICAS A INSTALAR EN LA ESTRUCTURA:				
PUESTA A TIERRA		SI (<input checked="" type="checkbox"/>) NO ()	PARARRAYOS	
			SI ()	NO (<input checked="" type="checkbox"/>)
OTROS (Describe):				
5) TIPO DE FUENTE DE ENERGIA A UTILIZAR:				
LINEA COMERCIAL (<input checked="" type="checkbox"/>)		GENERADOR ()	BANCO DE BATERIAS ()	EXISTE RESPALDO SI (<input checked="" type="checkbox"/>) NO ()
TIPO DE RESPALDO				
GENERADOR ()		BANCO DE BATERIAS ()	UPS ()	OTRO: Paneles solares _____
6) PROPIETARIO DE LA ESTRUCTURA: RIDRENSUR, EP				

2) **CARACTERISTICAS TECNICAS DE LAS ANTENAS**

CARACTERISTICAS TECNICAS	ANTENA 1	ANTENA 2
CODIGO DE ANTENA:	A1	A2
MARCA:	Ubiquiti	Ubiquiti
MODELO:	AG-HP-5G23	AG-HP-5G23
RANGO DE FRECUENCIAS (MHz):	5725 - 5850	5725 - 5850
TIPO:	PARABOLICA	PARABOLICA
IMPEDANCIA (ohmios):	50 Ohm	50 Ohm
POLARIZACION:	HORIZONTAL	VERTICAL
GANANCIA (dBd):	22.85	22.85
DIÁMETRO (m):		
AZIMUT DE RADIACION MAXIMA (°):	13,79°	316,02°
ANGULO DE ELEVACION (°):	10,97°	9,129°
ALTURA BASE-ANTENA (m):	13	12

2) **CARACTERISTICAS TECNICAS DE LAS ANTENAS**

CARACTERISTICAS TECNICAS	ANTENA 3	ANTENA 4
CODIGO DE ANTENA:	A3	A4
MARCA:	Ubiquiti	Ubiquiti
MODELO:	AG-HP-5G23	AG-HP-5G23
RANGO DE FRECUENCIAS (MHz):	5725 - 5850	5725 - 5850
TIPO:	PARABOLICA	PARABOLICA
IMPEDANCIA (ohmios):	50 Ohm	50 Ohm
POLARIZACION:	HORIZONTAL	VERTICAL
GANANCIA (dBd):	22.85	22.85
DIÁMETRO (m):		
AZIMUT DE RADIACION MAXIMA (°):	193,79°	136,02°
ANGULO DE ELEVACION (°):	-10,977°	-9,137°
ALTURA BASE-ANTENA (m):	7	6



FORMULARIO PARA PATRONES DE RADIACION DE ANTENAS

RC - 3B
Elab.: DGER
Versión. 01

1) Cod. Cont:

2) PATRONES DE RADIACION DE ANTENA

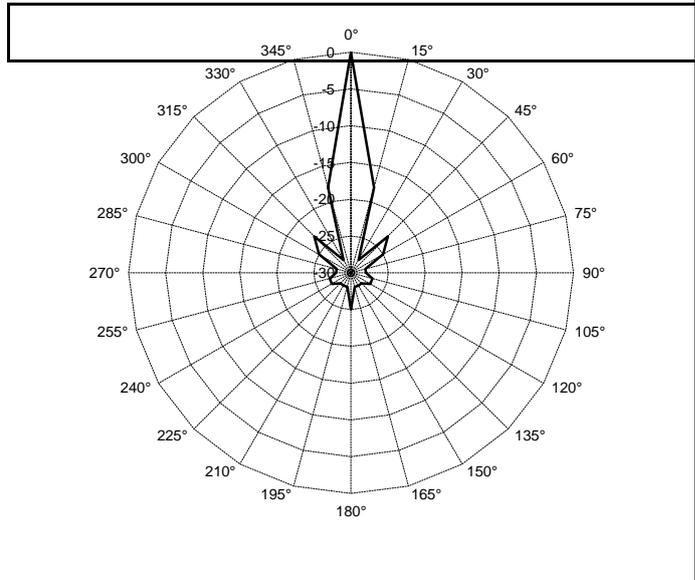
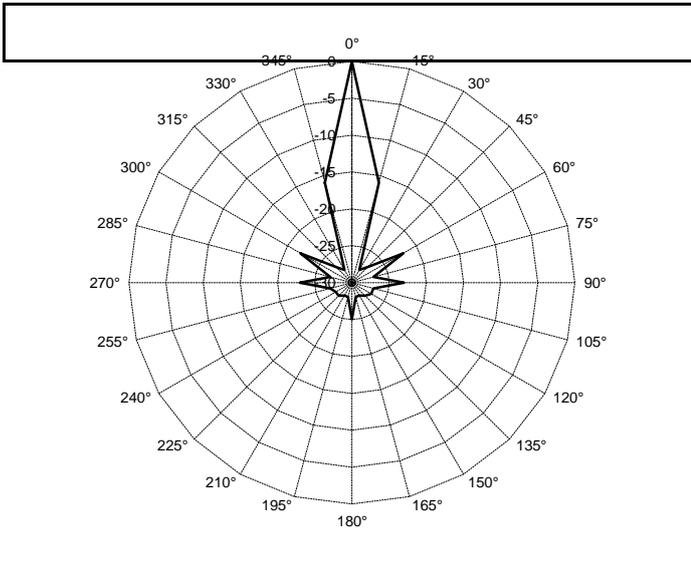
MARCA: Ubiquiti	MODELO: AG-HP-5G23	TIPO: PARABOLICA
-----------------	---------------------------	------------------

Ingrese los valores de ganancia (dBd) para cada radial.

RADIAL PLANO	PLANO																							
	0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°	105°	120°	135°	150°	165°	180°	195°	210°	225°	240°	255°	270°	285°	300°	315°	330°	345°
HORIZONTAL	0	-16	-28	-27	-22	-27	-23	-27	-27	27,5	-28	-28	-25	-28	-28	-27,5	-27,5	-27	-23	-27	-22	-27	-28	-16
VERTICAL	0	-18	-28	-23	-25	-28	-28	-27	-27	-28	-28	-28	-25	-28	-28	-28	-27	-27	-28	-28	-25	-23	-28	-18

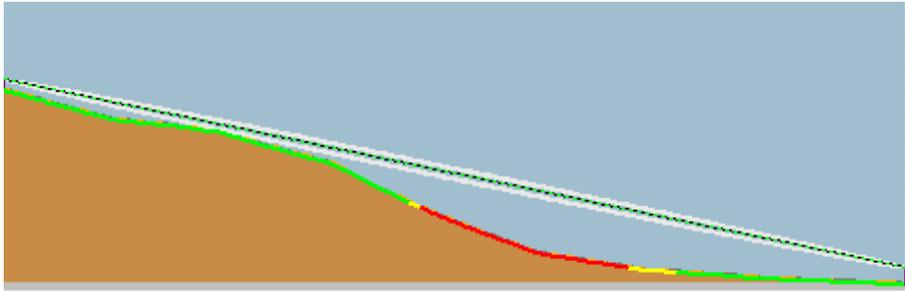
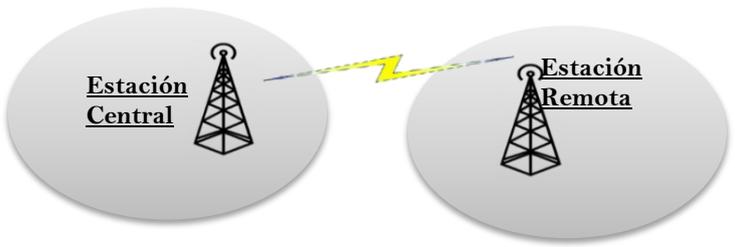
PATRON DE RADIACION HORIZONTAL

PATRON DE RADIACION VERTICAL

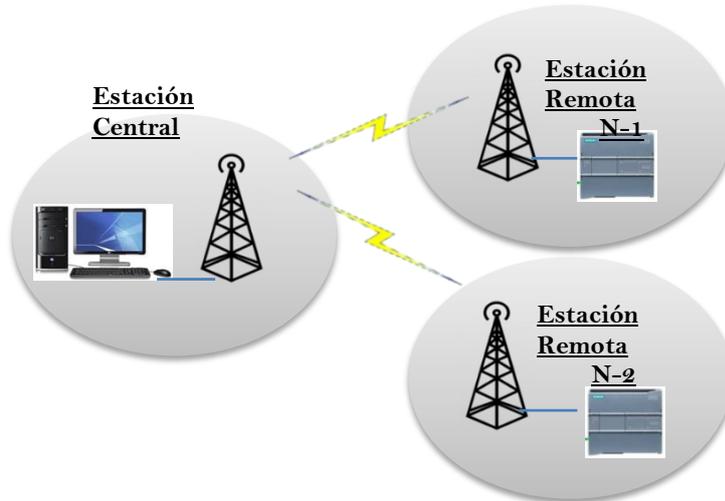


2) CARACTERISTICAS TECNICAS DE LOS EQUIPOS

TIPO DE ESTACION:	Fija	Fija		
CODIGO DEL EQUIPO:	E1	E1		
MARCA:	Ubiquiti	Ubiquiti		
MODELO:	AG-HP-5G23	AG-HP-5G23		
ANCHURA DE BANDA (kHz) o (MHz):	20MHz	20MHz		
SEPARACION ENTRE Tx Y Rx (MHz):	20	20		
TIPO DE MODULACION:	64QAM	64QAM		
VELOCIDAD DE TRANSMISION (Kbps):	125 – 2500 kbps	125 – 2500 kbps		
POTENCIA DE SALIDA (Watts):	0,3263 W	0,3263 W		
RANGO DE OPERACION (MHz):	5725 - 5850MHz	5725 - 5850MHz		
SENSIBILIDAD (μV) o (dBm):	-97 dBm	-97 dBm		
MAXIMA DESVIACION DE FRECUENCIA (kHz):		

	FORMULARIO PARA EL SERVICIO FIJO TERRESTRE (ENLACES PUNTO-PUNTO)		RC – 6A Elab.: DRE Versión: 01										
				1) Cod. Cont:									
2) CARACTERISTICAS DE OPERACION POR ENLACE													
No. ENLACE L1	BANDA DE FRECUENCIAS: (SHF)	RANGO EN LA BANDA REQUERIDA: 5,7GHz-5,8GHz	No. DE FRECUENCIAS POR ENLACE: 2										
3) MODO DE OPERACION SIMPLEX SEMIDUPLEX (FUL) FULLDUPLEX		4) ANCHURA DE BANDA: 50000kHz	5) CLASE DE EMISION:	6) POTENCIA DE OPERACIÓN (Watts): 0,3162W									
7) CARACTERISTICAS DE LAS ESTACIONES FIJAS													
INDICATIVO	AC. (A,M,I,E)	ESTRUCTURA ASOCIADA:	ANTENA(S) ASOCIADA(S):		EQUIPO UTILIZADO:								
F1	A	S1	A1	A2	E1								
F2	A	S2	A3	A4	E2								
8) CARACTERISTICAS TECNICAS DEL ENLACE													
DISTANCIA DEL ENLACE (Km):0,81km		MARGEN DE DESVANECIMIENTO (dB):44,1dB	CONFIABILIDAD (%):90%										
9) PERFIL TOPOGRAFICO													
DISTANCIA (Km)	0	D/12	D/6	D/4	D/3	5D/12	D/2	7D/12	2D/3	3D/4	5D/6	11D/12	D
ALTURA s.n.m. (m):	1706	1692	1679	1670	1651	1624	1598	1576	1562	1554	1550	1543	1543
Donde D = Distancia entre las estaciones fijas del enlace.													
10) GRAFICO DEL PERFIL TOPOGRAFICO:													
													
11) ESQUEMA DEL SISTEMA:													
													

1)
ESQUEMA GENERAL DEL SISTEMA



ANEXOS III: Programador lógico programable.



Controlador lógico programable (PLC) SIMATIC S7-1200 Guía de selección

	Descripción				
					
CPU	1212C	1214C	1214C	1215C	1215C
Versión	AC/DC/relé	DC/DC/DC	AC/DC/relé	DC/DC/DC	AC/DC/relé
Alimentación	110/220 VAC	24 VDC	110/220 VAC	24 VDC	110/220 VAC
Memoria de trabajo	50 KB	75 KB	75 KB	100 KB	100 KB
Memoria de carga	1 MB	4 MB	4 MB	4 MB	4 MB
Memoria remanente	10 KB	10 KB	10 KB	10 KB	10 KB
ENTRADAS / SALIDAS INTEGRADAS					
Entradas digitales (DI)	8DI a 24 VDC	14DI a 24 VDC	14DI a 24 VDC	14DI a 24 VDC	14DI a 24 VDC
Salidas digitales (DO)	6DO tipo relé	10DO tipo transistor 24 VDC	10DO tipo relé	10DO tipo transistor 24 VDC	10DO tipo relé
Entradas analógicas (AI)	2AI (voltaje)	2AI (voltaje)	2AI (voltaje)	2AI (voltaje)	2AI (voltaje)
Salidas analógicas (AO)	No	No	No	2AO(mA)	2AO(mA)
CAPACIDAD DE AMPLIACIÓN (MÁX.)					
Signal Board	1	1	1	1	1
Módulos de señal	2	8	8	8	8
Módulos de comunicación	3	3	3	3	3
CONTADORES RÁPIDOS INTEGRADOS					
Fase simple	3@100KHz 1@30KHz	3@100KHz 3@30KHz	3@100KHz 3@30KHz	3@100KHz 3@30KHz	3@100KHz 3@30KHz
Fase doble	3@80KHz 1@30KHz	3@80KHz 1@30KHz	3@80KHz 1@30KHz	3@80KHz 3@30KHz	3@80KHz 3@30KHz
Salida de pulsos	N/A	4@100KHz	N/A	4@100KHz	N/A
FUNCIONALIDAD					
Lazo PID	16	16	16	16	16
Data logging	Si ¹⁾	Si ²⁾	Si ¹⁾	Si ¹⁾	Si ¹⁾
COMUNICACIÓN					
Comunicación	16 conectores en total				
Profinet / Industrial Ethernet	Puertos Integrados:1 Profinet Controller:Hasta 8 dispositivos Profinet ¹⁾		Puertos Integrados:2 Profinet Controller:Hasta 8 dispositivos Profinet ¹⁾		
Profibus DP	Maestro mediante CM 1243-5:Hasta 16 esclavo Profibus DP ²⁾ Esclavo mediante CM 1242-5 ¹⁾				
RS485	Mediante CM 1241 (RS485): Soporta protocolos USS, Modbus RTU Maestro/Esclavo				
RS232	Mediante CM 1241 (RS232): Soporta Modbus RTU Maestro/Esclavo, ASCII, Freepport				
AS-Interface (AS-I)	Maestro mediante CM 1243-2: Soporta hasta 62 esclavos AS-I				
Modbus TCP	Hasta 8 equipos en red, mediante puerto Ethernet integrado				
Condiciones de instalación	- 20°C a + 60°C				
Temperatura ambiente					
WebServer	Si	Si	Si	Si	Si

SIMATIC S7-1200

Analog modules

SM 1231 analog input module

Overview



- Analog inputs for SIMATIC S7-1200
- With extremely short conversion times
- For connecting analog sensors without additional amplifiers
- For solving even more complex automation tasks

Technical specifications

	6ES7 231-4HD30-0XB0	6ES7 231-4HF30-0XB0
Product type designation	SM 1231 AI 4x13 bit	SM 1231 AI 8 x 13 bit
Supply voltages		
Rated value		
• 24 V DC	Yes	Yes
Current consumption		
Current consumption, typ.	45 mA	45 mA
from backplane bus 5 V DC, typ.	80 mA	90 mA
Power losses		
Power loss, typ.	1.5 W	1.5 W
Connection method		
required front connector	Yes	Yes
Analog inputs		
Number of analog inputs	4; current or voltage differential inputs	8; current or voltage differential inputs
Permissible input frequency for current input (destruction limit), max.	± 35 V	± 35 V
Permissible input current for voltage input (destruction limit), max.	40 mA	40 mA
Cycle time (all channels) max.	625 µs	625 µs
Input ranges		
• Voltage	Yes; ±10 V, ±5 V, ±2.5 V	Yes; ±10 V, ±5 V, ±2.5 V
• Current	Yes; 0 to 20 mA	Yes; 0 to 20 mA
• Thermocouple	No	No
• Resistance thermometer	No	No
• Resistance	No	No
Input ranges (rated values), voltages		
• -10 V to +10 V	Yes	Yes
• Input resistance (-10 V to +10 V)	≥9 MΩ	≥9 MΩ
• -2.5 V to +2.5 V	Yes	Yes
• Input resistance (-2.5 V to +2.5 V)	≥9 MΩ	≥9 MΩ
• -5 V to +5 V	Yes	Yes
• Input resistance (-5 V to +5 V)	≥9 MΩ	≥9 MΩ
Input ranges (rated values), currents		
• 0 to 20 mA	Yes	Yes
• Input resistance (0 to 20 mA)	≥ 250 Ω	≥ 250 Ω
Voltage input		
• permissible input voltage for voltage input (destruction limit), max.	35 V	35 V

ANEXOS IV: Sistema de energía auxiliar.

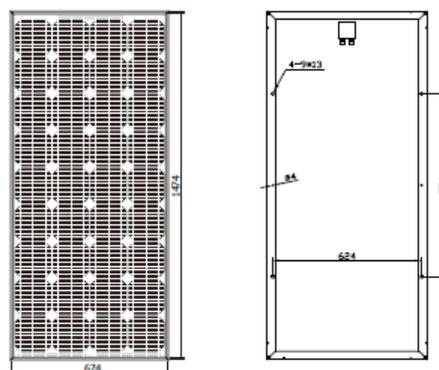
TECHNICAL DATA SHEET SM636-150



Technical Data	
Type	SM636-150
Type of Solar Cell	Mono-crystalline, 156mm×156mm
Number of Cells	36 pcs
Size of module	1482×676×35mm (156×156mm cell)
Module, Weight	12 kg
Connector / Cross-Section	Cixi Renhe
Cables, Length (+/-)	Customizable
Front Cover Glass	Safety Glass
Front Cover Glass, Thickness	3.2 mm
Frame	Anodized Aluminium

Electrical Data		
Maximum Power	$P_{MPP,STC}$	150 W
Power Tolerance	Δ_{STC}	+2%
Maximum Power Voltage	$U_{MPP,STC}$	18.1 V
Maximum Power Current	$I_{MPP,STC}$	8.42 A
Open Circuit Voltage	$U_{OC,STC}$	22.6 V
Short Circuit Current	$I_{SC,STC}$	8.88 A
Cell Efficiency	η_{STC}	15.5 %
Maximum System Voltage	U_{DC}	1000 V

STC: Irradiance 1000 W/m²; Spectrum AM 1.5; Cell Temperature 25°C, Wind 0 m/s



Temperature Coefficients		
Power Coefficient	$\alpha_p (P_{MPP})$	- 0.50 ± 0.05 %/K
Voltage Coefficient	$\beta_u (U_{OC})$	- 0.35 ± 0.01 %/K
Current Coefficient	$\phi_k (I_{SC})$	0.06 ± 0.01 %/K

Power Warranty	
10 years performance warranty to 90 %	
25 years performance warranty to 80 %	
5 years warranty against production and material defects	

Certifications	
IEC 61215, IEC 61730 ,TUV, CE, ISO9001:2000	

Simax(suzhou) Green New Energy Co.,Ltd Add:beibanjing riverside,suzhou road,taicang city,jiangsu province,China
Tel: +86 - 512 - 53378555 Fax: +86-512-53378556
Url: www.simaxsolar.com Email: info@simaxsolar.com



SUNSAVER™

CONTROLADOR SOLAR

Morningstar se complace en presentar el SunSaver de tercera generación. Desde su primera presentación en el mercado en 1996, se han instalado más de 1 millón de controladores SunSaver en más de 73 países para numerosos sistemas de energía solar, entre estos, petróleo/gas, telecomunicaciones e instrumentación, marina y navegación y hogares remotos. Hemos conservado mucho de nuestro diseño existente, por ejemplo, las mismas clasificaciones, el espacio y la interfaz de usuario simple y, además, hemos agregado diversas funciones de alto valor nuevas y avanzadas:

- Protecciones electrónicas completas
- Carga de batería de 4 etapas
- Autodiagnóstico para detectar fallas críticas
- LED de estado multicolor
- 3 LED para el estado de carga de la batería
- Recuperación de batería descargada
- Modo de telecomunicaciones para cargas sensibles
- Límite de carga máxima para cargas sensibles
- Cubierta para proteger los terminales de cables
- Certificaciones adicionales



Características clave y beneficios

■ **Fiabilidad sumamente alta**

- Índice de falla menor que 1 por cada 1.000 enviados (<0,1 %)
- Estado 100 % sólido. Diseño de MOSFET de energía
- Fabricado en una fábrica que cumple con ISO 9000
- Prueba de 100 % de funcionalidad anterior al envío

■ **Baterías con vida útil más larga**

- Carga PWM avanzada
- Diseño de serie (sin derivador de corriente) para un funcionamiento frío
- Carga de 4 etapas: principal, absorción, flotación, compensación
- Puntos de ajuste optimizados para batería sellada o con electrolito líquido
- Carga con compensación de temperatura
- Desconexión de carga de bajo voltaje en diversas versiones

■ **Diseñado para ambientes rigurosos**

- Clasificación de temperatura de -40 °C a +60 °C
- Encapsulación de epoxi para protección contra el ingreso de humedad y polvo
- Protección contra la corrosión: terminales de clasificación marina y carcasa de aluminio anodizada
- Certificado para su uso en ubicaciones peligrosas

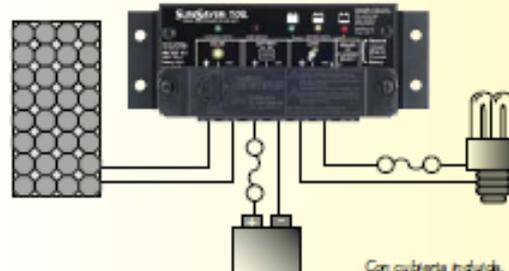
■ **Fácil de instalar y de usar**

- Gracias a los ajustes previos de fábrica, no se requieren configuraciones de instalación
- Las protecciones electrónicas evitan daños debido a errores de cableado
- Funcionamiento y recuperación de fallas completamente automáticos
- Los LED muestran información extensa acerca del estado, fallas, y condición de la batería

SUNSAVER™ CONTROLADOR SOLAR

Versiones de SunSaver

	Corriente solar	Corriente de carga	Voltaje del sistema	LVD
• SS-6-12 V	6 A	6 A	12 V	No
• SS-6L-12 V	6 A	6 A	12 V	Si
• SS-10-12 V	10 A	10 A	12 V	No
• SS-10L-12 V	10 A	10 A	12 V	Si
• SS-10L-24 V	10 A	10 A	24 V	Si
• SS-20L-12 V	20 A	20 A	12 V	Si
• SS-20L-24 V	20 A	20 A	24 V	Si



Con cubierta incluida.

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

Eléctricas

- Clasificaciones máx. de carga y fotovoltaica: Según lo anterior
- Voltaje del sistema: 12 o 24 voltios
- Voltaje mín. de la batería: 1 voltio
- Voltaje de regulación: 12 voltios / 24 voltios
- Bateria sellada: 14,1 V / 28,2 V
- Bateria con electrolito líquido: 14,4 V / 28,8 V
- Desconexión de carga: 11,5 V / 23,0 V
- Reconexión DBV: 12,6 V / 25,2 V
- Voltaje solar máx.:
 - Batería de 12 V: 30 voltios
 - Batería de 24 V: 60 voltios
- Capacidad de carga precipitada:
 - SunSaver-6: 45 amperios
 - SunSaver-10: 65 amperios
 - SunSaver-20: 140 amperios
- Autoconsumo: < 8 mA
- Precisión de voltaje:
 - 12 V: +/- 25 mV (común)
 - 24 V: +/- 48 mV (común)
- Protección temporal contra sobrevoltaje: 1500 W por conexión

Mecánicas

- Tamaño de cable: 5 mm² / AWG n.º 10
- Peso (desempacado): 0,23 kg
- Dimensiones: 15,2 x 5,5 x 3,4 cm

Ambientales

- Temperatura ambiente: -40 °C a +60 °C
- Temperatura de almacenamiento: -55 °C a +80 °C
- Humedad: 100 % sin condensación
- Tropicalización: Encapsulación de epoxia
Terminales de clasificación marina
Carcasa de aluminio anodizada

Protecciones electrónicas

- Solar: Sobrecarga, cortocircuito, alto voltaje
- Carga: Sobrecarga, cortocircuito, alto voltaje
- Batería: Alto voltaje
- Todos: Polaridad invertida, alta temperatura, rayos y sobrevoltajes temporales
- Corriente invertida en la noche

Carga de la batería

- Método de carga: PWM de la serie de 4 etapas
- Etapas de carga: Principal, absorción, flotación, compensación
- Compensación de temperatura:
 - Coefficiente: 12 V: -30 mV/°C
24 V: -60 mV/°C
 - Margen: -30 °C a +60 °C
 - Puntos de ajuste: Absorción, flotación, compensación

Indicaciones de LED

- LED de estado (1): Cargando o no cargando
Condiciones de error solar
- LED de la batería (3): Nivel de la batería
Etapas de carga

Certificaciones

- ETL con clasificación en la lista UL 1741 y CSA C22.2 N.º 107.1-01
- Ubicaciones peligrosas: Clase 1, División 2, Grupos A,B,C,D
CSA C22.2#213
- Pautas generales de EMC: Inmunidad, emisiones, seguridad
- FCC: Clase B, Parte 15
- CE
- RoHS
- ISO 9000

GARANTÍA: Período de garantía de cinco años. Comuníquese con Morningstar o con el distribuidor autorizado para conocer los términos completos.

DISTRIBUIDOR DE MORNINGSTAR AUTORIZADO:

MORNINGSTAR
CORPORATION

8 Pheasant Run
Newtown, PA 18940 EE.UU.
Tel : +1 215-321-4457 Fax: +1 215-321-4458
Correo electrónico: info@morningstarcorp.com
Sitio web: www.morningstarcorp.com



© 2007-2012 MORNINGSTAR CORPORATION IMPRESO EN EL U.S. 2008-03-07/2

UCG 100-12
12V 100AH
Deep Cycle Gel

Ultracell®
Quality In Every Language

UCG100-12



Physical Specification

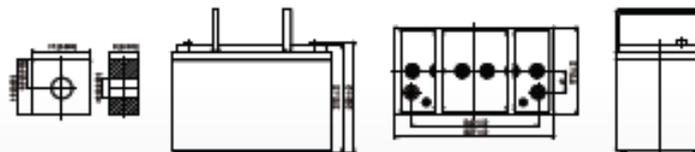
Part Number:	UCG100-12
Length:	327 ± 2 mm (12.87 inches)
Width:	173 ± 2 mm (6.81 inches)
Container Height:	212 ± 2 mm (8.35 inches)
Total Height (with terminal):	232 ± 2 mm (9.13 inches)
Approx Weight:	Approx 31.0kg (68.4lbs)

Specifications

	Normal Voltage	12V
	Normal Capacity (10HR)	100AH
Terminal Type	Standard Terminal	F10
	Optional Terminal	-
Container Material	Standard Option	ABS
	Flame Retardant Option (FR)	UL94V0
Rated Capacity	104.0 AH/5.20A	(20hr, 1.80V/cell, 25°C / 77°F)
	100.0 AH/10.0A	(10hr, 1.80V/cell, 25°C / 77°F)
	88.0 AH/17.6A	(5hr, 1.75V/cell, 25°C / 77°F)
	76.2 AH/25.4A	(3hr, 1.75V/cell, 25°C / 77°F)
	63.8 AH/33.8A	(1hr, 1.60V/cell, 25°C / 77°F)
Max Discharge Current	1000A (5s)	
Internal Resistance	Approx 5.9mΩ	
Discharge Characteristics	Operating Temp. Range	Discharge: -20 ~ 55°C (-4 ~ 131°F) Charge: 0 ~ 40°C (32 ~ 104°F) Storage: -20 ~ 50°C (-4 ~ 122°F)
	Nominal Operating Temp. Range	25 ± 3°C (77 ± 5°F)
	Cycle Use	Initial Charging Current less than 24.0A Voltage 14.4V ~ 15.0V at 25°C (77°F) Temp. Coefficient -30mV/°C
	Standby Use	No limit on Initial Charging Current Voltage 13.5V ~ 13.8V at 25°C (77°F) Temp. Coefficient -20mV/°C
	Capacity affected by Temperature	40°C (104°F) 103% 25°C (77°F) 100% 0°C (32°F) 85%
	Design Floating Life at 20°C	12 Years
Self Discharge	Ultracell batteries may be stored for up to 6 months at 25°C (77°F) and then a refresh charge is required. For higher temperatures the time interval will be shorter.	

Dimensions

F10 Terminal



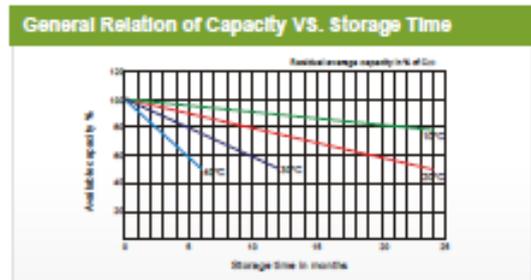
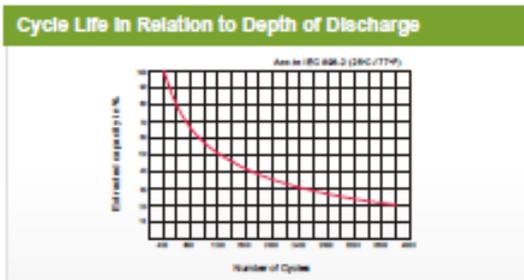
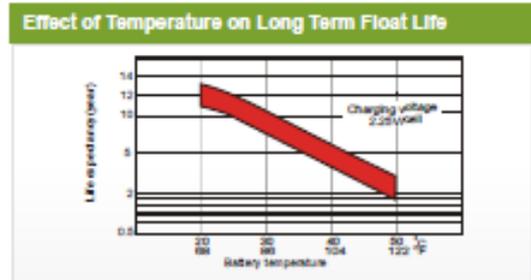
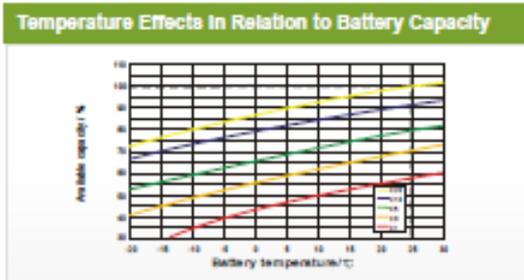
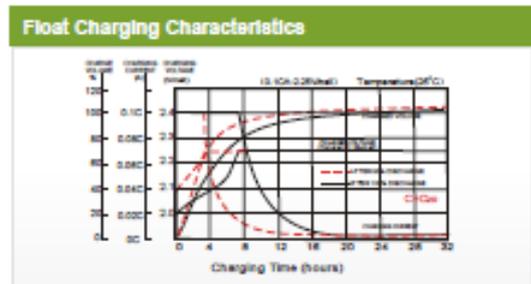
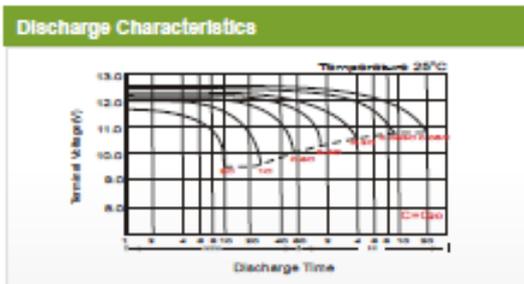
ALL DATA IS SUBJECT TO CHANGE WITHOUT NOTICE

1 Ultracell (UK) Ltd | Vesty Business Park | Vesty Road | Liverpool | L30 1NY | United Kingdom
Tel: +44 (0) 151 523 2777 Fax: +44 (0) 151 523 0855 Email: info@ultracell.co.uk
www.ultracell.co.uk



Constant Current Discharge (Amperes) at 25°C (77°F)														
F/V/Time	20 min	30 min	45 min	1h	2h	3h	4h	5h	6h	7h	8h	9h	10h	20h
1.85V/cell	84.6	66.4	50.7	42.4	26.9	20.5	17.0	14.7	12.3	10.9	9.8	8.96	8.47	4.61
1.80V/cell	96.9	74.2	55.9	46.8	29.1	22.0	18.0	15.4	12.9	11.4	10.3	9.42	8.86	4.80
1.75V/cell	108.9	81.6	60.4	50.1	30.9	23.2	18.9	16.0	13.3	11.8	10.6	9.7	9.00	4.90
1.70V/cell	117.3	87.4	64.1	53.0	32.7	24.2	19.5	16.5	13.8	12.2	10.9	10.0	9.23	4.96
1.65V/cell	122.1	90.8	66.4	55.0	33.6	24.9	20.0	16.8	14.0	12.3	11.1	10.1	9.34	5.01
1.60V/cell	132.3	97.2	71.3	58.4	34.9	25.9	20.7	17.4	14.4	12.6	11.3	10.3	9.53	5.06

Constant Power Discharge (Watts) at 25°C (77°F)														
F/V/Time	20 min	30 min	45 min	1h	2h	3h	4h	5h	6h	7h	8h	9h	10h	20h
1.85V/cell	161.9	128.0	96.2	82.6	52.6	40.2	33.4	28.9	24.3	21.6	19.5	17.8	16.9	9.20
1.80V/cell	183.0	141.6	107.5	90.7	56.6	42.9	36.3	30.3	25.4	22.5	20.4	18.7	17.6	9.57
1.75V/cell	203.4	154.4	115.4	96.5	59.8	45.2	36.8	31.4	26.3	23.3	21.0	19.3	17.9	9.75
1.70V/cell	216.8	163.9	121.7	101.6	63.1	46.9	37.9	32.3	27.1	24.0	21.6	19.7	18.3	9.86
1.65V/cell	223.1	168.5	125.1	104.8	64.4	48.2	38.7	32.8	27.5	24.3	21.9	20.0	18.5	9.95
1.60V/cell	239.1	178.7	133.4	110.7	66.7	49.9	40.1	33.8	28.1	24.7	22.2	20.3	18.9	10.1



Ultracell (UK) Ltd | Vestey Business Park | Vestey Road | Liverpool | L30 1NY | United Kingdom
 Tel: +44 (0) 151 523 2777 Fax: +44 (0) 151 523 0255 Email: info@ultracell.co.uk
www.ultracell.co.uk

ALL DATA IS SUBJECT TO CHANGE WITHOUT NOTICE



samlexamerica®

**DC-AC Inverter
With Transfer Switch
Pure Sine Wave**

Model
ST1000
12 ~ 48 VDC



Design Features

- Built-in 35A transfer relay and 12A AC circuit breaker
- AC output of the inverter is kept synchronized in frequency and in phase with the AC input source to protect the load and the inverter for faster transfer
- Switch selectable Power Save Mode (Sleep Mode)
- Remote ON/OFF control through external contact closure by mechanical / transistor switch
- Optional wired remote controls for ON/OFF and monitoring the operation. Includes Ignition Lockout and Reverse Over-ride Function (ROF)
- Input and output are fully isolated
- Advanced micro-controller
- Load controlled cooling fan saves power consumption
- 3 tri-color LEDs display operational status and fault indications

2 YEAR WARRANTY

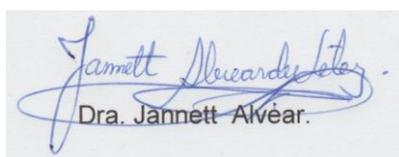
	MODEL NO.	ST1000-112	ST1000-124	ST1000-148
OUTPUT IN INVERTER MODE	OUTPUT VOLTAGE		120 VAC +/- 5%	
	OUTPUT FREQUENCY		50 / 60 Hz (Switch selectable)	
	TYPE OF OUTPUT WAVEFORM		Pure Sine Wave	
	TOTAL HARMONIC DISTORTION		< 3%	
	CONTINUOUS OUTPUT POWER (At Power Factor = 1)		1000W	
	SURGE OUTPUT POWER (At Power Factor = 1)		2000W	
	PEAK EFFICIENCY (At full load)	88%	90%	92%
	AC OUTPUT CONNECTIONS	Terminal Block for hard wiring		
OUTPUT IN BY-PASS MODE	OUTPUT VOLTAGE	Same as external AC input source		
	OUTPUT FREQUENCY	Same as external AC input source		
	TYPE OF OUTPUT WAVEFORM	Same as external AC input source		
	TOTAL HARMONIC DISTORTION	Same as external AC input source		
	CONTINUOUS OUTPUT POWER	Load to be limited to 1000W. Protected by 12A breaker		
OUTPUT IN BY-PASS MODE	OUTPUT VOLTAGE	Same as external AC input source		
	OUTPUT FREQUENCY	Same as external AC input source		
	TYPE OF OUTPUT WAVEFORM	Same as external AC input source		
	TOTAL HARMONIC DISTORTION	Same as external AC input source		
	CONTINUOUS OUTPUT POWER	Load to be limited to 1000W. Protected by 12A breaker		
INPUT	NOMINAL DC INPUT VOLTAGE	12 VDC	24 VDC	48 VDC
	DC INPUT VOLTAGE RANGE	10.5 to 15 VDC	21 to 30 VDC	42 to 60 VDC
	DC INPUT CURRENT AT NO LOAD (Power Save enabled)	0.25A	0.15A	0.09A
	DC INPUT CURRENT AT NO LOAD (Power Save disabled)	1.43A	0.75A	0.38A
	DC INPUT CONNECTIONS	M-8 nut & bolt / Wire with M-8 ring lug terminal		
	AC INPUT CONNECTIONS	Terminal Block for hard wiring		
POWER SAVE (SLEEP) MODE	ENABLED OR DISABLED BY DIP SWITCHES	Wake up threshold: 20 to 135W (Selected by DIP Switches)		
TRANSFER SWITCH	RATING	35A		
	SWITCHING TIMES (Power Save OFF)	AC input source to inverter: 16-50 msec; Inverter to AC input source: 8 -10 msec		
LOCAL DISPLAY	LED DISPLAY	Three, 3-color (Green, Orange, Red) LEDs for operational and fault status		
REMOTE OPERATION & INDICATIONS	WIRED ON/OFF CONTROL	By external contact closure through mechanical / transistor switch		
	OPTIONAL REMOTE CONTROL PANEL (SIMPLE)	S-R8		
	OPTIONAL REMOTE CONTROL PANEL (UPGRADED)	S-R6-12	S-R6-24	Nil
PROTECTIONS	LOW DC INPUT VOLTAGE ALARM	11 VDC	22 VDC	44 VDC
	LOW DC INPUT VOLTAGE SHUTDOWN	10.2 VDC	20.3 VDC	40.8 VDC
	HIGH DC INPUT VOLTAGE SHUTDOWN	15.3 VDC	30.6 VDC	61.2 VDC
	SHORT CIRCUIT SHUTDOWN	Yes		
	OVERLOAD SHUTDOWN	Yes		
	OVER TEMPERATURE SHUTDOWN	Yes		
	REVERSE POLARITY ON DC INPUT SIDE	Yes. Internal fuses will blow		
	OVERLOAD PROTECTION - AC INPUT SOURCE	12A Circuit Breaker		
COOLING	FORCED AIR COOLING	1 fan. Will switch ON/OFF at specified values of load		
COMPLIANCE	SAFETY	Meets UL Standard UL-458 (pending listing)		
	EMI	Meets FCC Part 15(B), Class A		
ENVIRONMENT	OPERATING TEMPERATURE RANGE	0°C to + 40°C / 32°F to 104°F		
	STORAGE TEMPERATURE RANGE	- 30°C to 70°C / - 22°F to 158°F		
DIMENSIONS	(W X D X H), MM	236 x 373 x 115		
	(W X D X H), INCHES	9.29 x 14.7 x 4.53		
WEIGHT	KG	6.2		
	LBS	13.6		

NOTE: Specifications are subject to change without notice

12003-ST1000-112-124-148-0414

Loja, 4 de agosto de 2015

Dra. Jannett Alvear, ecuatoriana, con cédula de identidad 1101456588, me permito indicar que la traducción del Resumen de la tesis titulada “Estudio Técnico para la automatización de dos sectores del Sistema de Riego Campana Malacatos” realizado por el señor egresado Diego Fernando Maldonado Pineda, de la Universidad Nacional de Loja, ha sido debidamente revisada por lo que certifico que es correcta y fiel a su original en español.



Dra. Jannett Alvear.

Docente del Área de Inglés.