

# UNIDAD DE ADQUISICIÓN Y TRANSFERENCIA DE VARIABLES REMOTAS PARA EL MONITOREO EN TANQUES DE ALMACENAMIENTO DE AGUA POTABLE

Michael Salazar\*, Daniel Álvarez†

\*Carrera de Ingeniería en Mecatrónica, Universidad Técnica del Norte, Email: mdsalazarv@utn.edu.ec

†Carrera de Ingeniería en Mecatrónica, Universidad Técnica del Norte, Email: daalvarez@utn.edu.ec

**Abstract**—The present investigation details the construction of a unit for the acquisition and transfer of remote variables to monitor drinking water storage tanks. Taking into account requirements and availability of products, the development of the project is based on the use of a PLC (Programmable Logic Control), a Touch Panel as HMI (Human-Machine Interface) and a telemetry system which will integrate the logic of the project. In the project, the telemetry system is vital to send and collect the information, which will be captured by the company's staff for timely decision making, in the event of any anomaly, thus providing a better service and quality. Under this conception the unit of acquisition and transfer of remote variables is integrated in the drinking water treatment plant "20 de Julio", of the EPAA-AA company (Public Company of Potable Water and Sewerage of Antonio Ante) in the province of Imbabura, through which you can monitor and manipulate all the states of the HMI interface from any place where you have an Internet signal.

**Keywords:** Unidad de monitoreo, sistema telemetría, HMI, PLC, interfaz.

## I. INTRODUCCIÓN

El avance tecnológico en diferentes campos de la automatización y control permiten crear nuevas aplicaciones para controlar y monitorear variables de sistemas, gracias a la integración y aplicación de estas nuevas tecnologías se logra la obtención inmediata de la información, dando paso al personal técnico encargado hacer uso de estos datos pudiendo actuar de manera pertinente en caso de ocurrir algún percance. En base a lo descrito centraremos el proyecto en desarrollar una unidad de adquisición y transferencia de variables remotas para monitorear tanques de almacenamiento de agua potable. Esta permitirá visualizar el proceso desde una interfaz HMI, a nivel local y desde cualquier lugar donde se disponga servicio de internet mediante el acceso a cualquier dispositivo compatible con nuestro sistema.

## II. METODOLOGÍA

Los pasos a seguir en el diseño y construcción de la unidad de adquisición y transferencia de variables remotas en tanques de almacenamiento de agua potable se enlistan a continuación:

- Descripción de la planta de tratamiento
- Requerimientos del sistema
- Selección de componentes

- Diseño de la unidad
- Construcción de la unidad
- Pruebas de funcionamiento

### A. Descripción de la planta de tratamiento "20 de Julio"

Se encuentra ubicada en el barrio San Miguel perteneciente a la parroquia Andrade Marín, a una altura de 2468,67 m.s.n.m., en las coordenadas Este: 810089,25 y Norte: 10035506,63.



Figura 1. Localización geográfica de la estación del proyecto

Da tratamiento al agua proveniente de la estación de bombeo 25 de Marzo con un caudal de 32 l/s, que llega con tubería de PVC de 200 milímetros y es descargada inicialmente en una estructura de hormigón, que permite que el agua se oxigene, para luego ser conducida mediante dos tuberías de 200 y 300 milímetros hacia desarenadores y posteriormente pasar a los filtros de arena y desinfección, previo al almacenamiento y distribución del líquido.

TANQUE DE ALMACENAMIENTO 1 Y 2		
Descripción	Dimensión	Unidad
Radio	9.75	m
Altura	5.5	m
Volumen	1000	m <sup>3</sup>

Tabla 1. Características constructivas



Figura 2. Tanque 1 de almacenamiento subterráneo de agua potable 1000 m3

### B. Requisitos del sistema

Los puntos establecidos para implementar la unidad de adquisición y transferencia de variables remotas deben cumplir con ciertos requerimientos básicos que ayuden a establecer la viabilidad del proyecto.

Parámetros necesarios para implementar el sistema:

- Alimentación de la unidad 110V/220V AC
- Línea de vista para implementar los sistemas
- Adquirir un dirección IP pública

### C. Variables del sistema

Las variables a intervenir en el sistema son el nivel y volumen de los tanques de almacenamiento. La señal de nivel es una señal analógica adquirida del sensor, y procesada por un Controlador Lógico Programable, en tanto que el volumen se obtiene de una relación del nivel y las características constructivas de los tanques como son el radio y la altura del tanque a monitorear. Cabe mencionar que los tanques se encuentran conectados por medio de vasos comunicantes lo permite conocer el estado de los mismos de manera simultánea.

VARIABLE	UBICACIÓN	SEÑAL
Nivel del Tanque 1	Planta de tratamiento	4-20 mA
Nivel del Tanque 2	Planta de tratamiento	4-20 mA
Volumen Tanque 1	Planta de tratamiento	
Volumen Tanque 2	Planta de tratamiento	

Tanque 2 de almacenamiento subterráneo de agua potable 1000 m3

### D. Variables del sistema

Tomando en cuenta los requerimientos para la implementación de la unidad de adquisición y transferencia de variables remotas y haber analizado las variables a intervenir en el sistema procedemos a realizar la selección de los materiales a fin de seleccionar los más adecuados a la hora de su implementación.

1) *Controlador Lógico Programable* : Al existir en el mercado una amplia gama de marcas donde elegir procederemos a realizar un análisis comparativo y cualitativo de las características necesarias para la implantación de nuestro automatismo dentro del proyecto. A continuación estableceremos

los requerimientos que debe presentar nuestro controlador a fin lograr encontrar el más apto para nuestra aplicación. En la tabla 3 se muestra un análisis característico de tres Automatas que cumplen con nuestros requerimientos.

CARACTERÍSTICAS	PLC DVP16ES2	PLC S7-1200	PLC CONTROLLOGIX 5580
ENTRADAS/SALIDAS ANALÓGICAS 4-20 mA	MODULO EXTERNO	1	1
MODULO DE EXPANSION ANALOGICO	\$ 226,94	\$ 273,63	\$ 236,99
COMUNICACION RS485	SI	SI	SI
COMUNICACION ETHERNET	SI	SI	SI
FUENTE DE ALIMENTACION	NO REQUIERE 120V-220V CA	SI REQUIERE 24V DC	NO REQUIERE 120V-220V CA
MEMORIA DE ALMACENAMIENTO	55KB	75KB	40KB
SOFTWARE DE PROGRAMACION	GRATUITO	LICENCIA	LICENCIA
ESCALABILIDAD	SI	SI	SI
COSTO	\$ 202,75	\$ 473	\$ 407,33

Tabla 3. Análisis Cualitativo entre PLCs.

Luego de ver cada propiedad de los Controladores Lógicos Programables, se realizó un proceso de ponderación de cada criterio de selección, dentro de una escala.

ESCALA PARA FACTOR DE RANGO R	
EXCELENTE	9-10
MUY BUENO	7-8
BUENO	5-6
POBRE	3-4
INSATISFACTORIO	0-2

Tabla 4. Ponderación.

En la tabla 5 se muestra el proceso de ponderación teniendo en cuenta las propiedades establecidas en la tabla anterior.

CRITERIO	PESO %	DELTA ELECTRONICS	SIEMENS	ALLEY BRADLEY
ENTRADAS/SALIDAS ANALÓGICAS 4-20mA	30	7	6	8
R X PESO		210	180	240
COMUNICACION ETHERNET /RS-485	20	9	9	9
R X PESO		180	180	180
SOFTWARE DE PROGRAMACION	20	10	8	7
R X PESO		200	160	140
MEMORIA DE ALMACENAMIENTO	10	7	9	7
R X PESO		70	90	70
FUENTE DE ALIMENTACION	10	10	6	7
R X PESO		100	60	70
COSTO	10	10	8	6
R X PESO		100	80	60
TOTAL	100	860	750	760

Tabla 5. Análisis Cuantitativo entre PLCs

Al analizar la Tabla 6 podemos establecer que el PLC DVP16ES2 de la marca DELTA ELECTRONICS es la mejor opción, no solo por brindar todos los requerimientos establecidos sino que también posee una amplia gama de aplicaciones gratuitas que influyen de manera positiva a un mejor desarrollo de nuestro proyecto. En la Tabla 6 se muestra las características técnicas requeridas para el controlador lógico programable.

Descripción	Eléctrica	Voltaje de Alimentación	100...240 VCA
		Corriente	< 2.5 A
		Potencia	30 VA
		Comunicación	1 puerto serial RS-232 2 puerto serial RS-485
		Entradas /Salidas	8DI / 8DO 4-20 mA
	Mecánica	Medida	145x110x78
		Peso	0.5 Kg
		Montaje	Gabinete/ Riel DIN
	Norma	Protección	IP65

Tabla 6. Características técnicas del PLC

2) *Interfaz Hombre-Máquina* : La pantalla HMI DELTA DOP-B3211 la cual nos ofrece las mejores prestaciones en cuanto a una óptima e inmediata visualización de parámetros, software de programación gratuito el cual es una gran ventaja en cuanto al tema de licencias al momento de adquirir un dispositivo.

En la tabla 7 se detalla las características técnicas de la interfaz seleccionada.

Descripción	Eléctrica	Voltaje de Alimentación	+ 24VDC
		Corriente	< 500 mA
		Display	4.3"
		Resolución	480 x 272 pixeles
		Comunicación	1 puerto Ethernet 1 puerto USB 3 puertos Seriales RS-232/RS-422/RS-485
	Mecánica	Medida	480 x 272
		Peso	0.5 Kg
		Montaje	Gabinete
	Norma	Protección	IP65

Tabla 7. Características técnicas de la interfaz HMI.

3) *Instrumentación* : El sensor de la marca SICK UM30-215113 el cual gracias a grado de protección IP67 soporta el agua clorada lo que permite que el dispositivo tenga mayor durabilidad en el tiempo. Otra ventaja que ofrece este modelo de sensor es que contiene un visualizador display que admite configuraciones de acuerdo a la aplicación. Además no presenta mayor variación en el valor de los datos obtenidos cuando se genera una capa de espuma en la superficie del agua.

Descripción	Eléctrica	Voltaje de Alimentación	10...30 VCC
		Corriente	< 60 mA
		Frecuencia del ultrasonido	65 kHz
		Resolución	0.35 mm
		Rango de operación	400...6000mm
	Mecánica	Comunicación/salidas	4-20 mA
		Medidas(largo x ancho)	106x73mm
		Peso	165 g
	Norma	Tipo de conexión	Conector M12 x 1, 5 polos
		Protección	IP67

Tabla 8. Características sensor SICK UM30-215113

4) *Sistema de telemetría*: Actualmente en el mercado local encontramos un sistema sencillo, pero extraordinariamente robusto ideal para realizar transmisión de datos de un lugar a otro, presente con diversas características las que se acoplan exitosamente a los requerimientos que se presenten .Para llevar

a cabo la transmisión de datos obtenidos en la planta de tratamiento a la oficina central de la EPAA-AA se establece el uso de antenas NanoBridge M5 las cuales se encuentran dimensionadas de acuerdo a nuestra necesidad.

Descripción	Eléctrica	Voltaje de Alimentación	120VCA
		Corriente	0.5A
		Frecuencia	5250MHz - 5825MHz
		Ganancia	16 dBi
		Rango de operación	15 Km
	Mecánica	Comunicación	2 puerto Ethernet
		Peso	0.65 Kg
		Temperatura de funcionamiento	-30°C a 75°C
		Montaje	Poste
		Norma	Grado de Protección

Tabla 9. Características sensor SICK UM30-215113

5) *Sistema de alimentación ininterrumpida (UPS)*: Realizada la selección de los dispositivos electrónicos a intervenir en el sistema realizamos un análisis de la corriente eléctrica que utiliza cada elemento a fin de seleccionar la UPS más acorde a nuestra necesidad de carga, pudiendo de esta manera sustentar la energía en caso de que ocurrir una suspensión del servicio o presentar niveles de voltaje inaceptables.

En la tabla 10 se muestra la suma de corrientes de los equipos que intervienen en el sistema.

Descripción	Corriente de entrada
PLC	2.5 A
HMI	0.5 A
SENSOR	0.06 A
ANTENA	0.5 A
<b>SUB TOTAL</b>	<b>3.56 A</b>
<b>TOTAL</b>	<b>3.56 X 25 % = 4.45 A</b>

Tabla 10. Sumatoria de corrientes.

En base al análisis de la suma de corrientes seleccionamos una unidad de alimentación ininterrumpida modelo NT-1001 de la marca FORZA que ofrece las características necesarias para el sistema. En la tabla 11 se muestra las características técnicas la unidad seleccionada.

CAPACIDAD	VA	1000VA/500W
ENTRADA	Tensión nominal	120V
	Margen de tensión	89-145V
	Corriente	11A
	Frecuencia	50/60 Hz
SALIDA	Tipo de enchufe	1 NEMA 5-15P
	Tensión nominal	120V +/- 10 %
	Forma de onda	Onda sinusoidal
	Corriente	7.5 A
BATERIA	Frecuencia	50/60 Hz
	Tipo de enchufe	4 NEMA 5-15R
	Tipo de baterías	12V 9Ah (1)
	Tiempo de autonomía	25 min
CARACTERÍSTICAS FISICAS	Tiempo de recarga	Hasta el 90% de su capacidad en 6 horas
	Tiempo de transferencia	2-6 ms
	Longitud del cable	1.2 m
	Dimensiones del producto	279 x 101 x142 mm
	Peso del producto	4.9 kg

Tabla 11. Sumatoria de corrientes.

## E. Diseño de la unidad

1) *Programación del plc*: WPLSoft es un editor de programación del PLC, mediante el cual realizaremos la parte lógica de la unidad de adquisición y transferencia de variables

remotas. En la figura 12 se muestra un diagrama de flujo de la adquisición de datos al PLC.

La lógica del programa empieza con la adquisición de la señal analógica obtenida desde un sensor ubicado en uno de los tanques, esta señal es interpolada y entra en un proceso de condición de funcionamiento para gestionar alarmas por niveles altos o bajos.

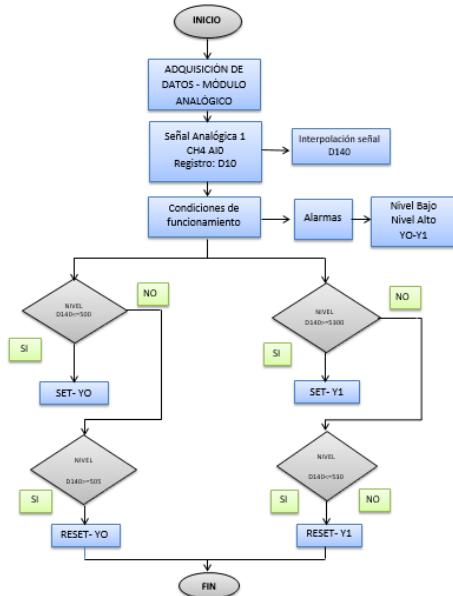


Figura 3. Diagrama de Flujo adquisición de datos PLC

2) *Nivel del líquido en el Tanque:* A continuación se muestra la ecuación general de interpolación utilizada para encontrar la distancia entre el sensor y el espejo de agua en el tanque de almacenamiento de agua potable.

$$Y_0 = \left[ \left( \frac{Y_{max} - Y_{min}}{X_{max} - X_{min}} \right) * (X_0 - X_{min}) \right] + Y_{min}$$

Ecuación 1. Interpolación de la señal

Dónde:

- $Y_0$ =Distancia entre el sensor y espejo de agua
- $Y_{max}$ =Altura máxima del tanque de hormigón.
- $Y_{min}$ =Altura mínima del tanque de hormigón.
- $X_{max}$ =Valor máximo del sensor en referencia a la altura superior del tanque de hormigón.
- $X_{min}$ =Valor mínimo del sensor en referencia a la altura mínima del tanque de hormigón.
- $X_0$ =Valor del sensor en relación a una variación de altura.

Posterior a realizar la interpolación de la señal del sensor reemplazamos los valores que se conoce de la estructura del tanque, obteniendo de esta manera la distancia entre el sensor y el espejo de agua. La ecuación es adquirida con el fin de poder ingresar estos valores en la programación del PLC. A continuación se muestra la ecuación encontrada una vez se ha reemplazado las variables conocidas.

$$Y_0 = \left[ \left( \frac{5.400}{31.780} \right) * (X_0 - 220) \right] + 600$$

Ecuación 2. Distancia entre el sensor y el espejo de agua

Dónde:

- $Y_0$ =Distancia entre el sensor y espejo de agua
- 5.400=Rango entre altura del tanque
- 31.780=Rango entre lectura del sensor
- 220=Valor mínimo lectura del sensor
- 600=Valor mínimo altura del tanque de hormigón
- $X_0$ =Valor del sensor en relación a una variación de altura.

3) *Volumen de agua en el tanque:* Para obtener el volumen de agua en el tanque utilizamos la fórmula del volumen de un cilindro, la cual es ingresada en la programación del PLC. El volumen obtenido se encuentra en relación del nivel de agua y del radio del tanque los cuales son valores propios de la estructura del sistema.

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

Ecuación 3. Volumen de agua en el tanque

Dónde:

- $V$ =Volumen de agua en el tanque
- $\pi$ =Constante
- $r$ =Radio del tanque de hormigón
- $h$ =Nivel del líquido

4) *Elaboración y configuración pantallas HMI :* Para crear las pantallas de interfaz de la unidad de monitorización, se utiliza la plataforma DOPSoft que ofrece gran versatilidad para el diseño de puntos de interacción. Empezamos determinando diferentes puntos de acceso a través de ventanas a las cuales gobiernan parámetros de acción encaminadas a conocer en tiempo inmediato el estado de los tanques de almacenamiento de agua potable de la planta de tratamiento 20 de Julio. A continuación se muestra en detalle un grupo de ventanas establecidas dentro de la interfaz HMI. En la ventana principal tenemos un visualizador con la fecha, hora y un botón de acceso a los parámetros de configuración del sistema.



Figura 4. Pantalla principal de acceso

Cabe mencionar que se introduce una clave de acceso como seguridad a la unidad.



Figura 5. Pantalla principal de acceso

En la ventana de acceso número dos tenemos a disposición cuatro botones de acceso secundarios, los cuales contienen los principales parámetros involucrado en el proceso.



Figura 6. Pantalla secundaria de parámetros.

En la ventana de acceso al nivel de agua, observamos de manera gráfica la variación del nivel en relación al flujo que entra y sale del tanque, además dispone de alarmas con indicadores que muestran el nivel alto y bajo.



Figura 7. Pantalla de nivel y volumen de agua.

En las pantallas siguientes se hace un análisis mediante gráficas del nivel y volumen en relación al tiempo para tener una visión general del comportamiento del sistema.

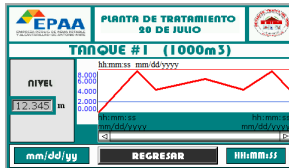


Figura 8. Gráfica del nivel.

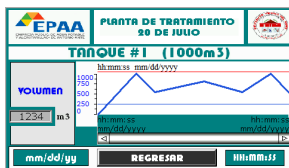


Figura 9. Gráfica del nivel.

En la siguiente ventana tenemos un registro histórico del nivel de agua en el cual podemos observar la fecha y la hora en el que el tanque presenta niveles bajos o altos.



Figura 10. Gráfica del nivel.

#### F. Implementación de la unidad de monitorización

Para la elaboración del tablero de monitorización se utilizó un gabinete metálico, norma ASTM A569 con pintura electrostática con tratamiento de desengraso, grado de protección IP64. En el tablero se realizan perforaciones, una en el centro de la puerta del tablero para colocar la pantalla de operador de 4.3 pulgadas y otras en la parte inferior del mismo para insertar prensaestopas PG 1 tanto para las acometidas de alimentación, adquisición y transferencia de datos de la unidad. En la figura 11 se muestra la distribución de los diferentes elementos que

se utilizaron para elaborar el tablero de monitorización de la unidad de adquisición y transferencia de variables remotas.

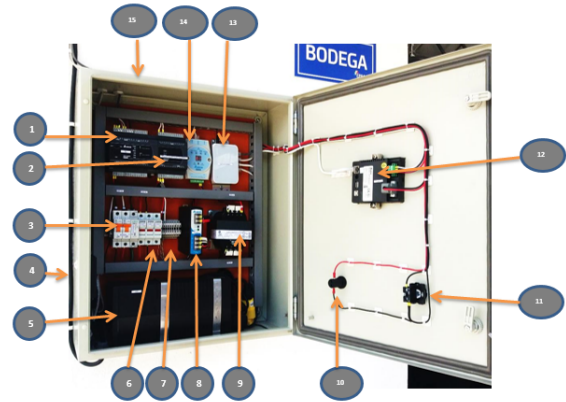


Figura 11. Gráfica del nivel.

- |                              |                             |
|------------------------------|-----------------------------|
| 1. PLC                       | 9. Transformador de control |
| 2. Módulo analógico          | 10. Luz piloto              |
| 3. Breaker termomagnético    | 11. Selector dos posiciones |
| 4. Alimentación 220V CA      | 12. Interfaz HMI            |
| 5. UPS                       | 13. Switch Ethernet         |
| 6. Fusibles                  | 14. Convertidor Ethernet    |
| 7. Borneras señal del sensor | 15. Tablero Sbox            |

Figura 11. Gráfica del nivel.

### III. CONCLUSIONES

- Posterior a realizar un análisis del estado de los sistemas de automatización empleados en los tanques de la planta de tratamiento, se establece la implementación de un sistema de monitoreo constante, al no presentar algún sistema manual o automático de monitoreo que supervise el proceso de almacenamiento y distribución del recurso hídrico, siendo este un punto clave a través del cual se puede establecer la capacidad de abastecimiento, cierre y apertura de válvulas e históricos del volumen del líquido en el transcurso del día.
- Para el diseño de la unidad de adquisición y transferencia de variables remotas, fue importante tener conocimiento para la selección de los materiales en cada una de las etapas del sistema pudiendo de esta manera elegir los que puedan ser encontrados fácilmente en el mercado y dentro de ellos elegir los que puedan desempeñar la función requerida siendo estos fácilmente adaptables a los elementos del sistema.
- La unidad de adquisición y transferencia de variables remota construida bajo normas eléctricas de construcción y protección no solo responde a la aplicación actual, sino también a la integración de nuevas variables o aplicaciones debido a la escalabilidad de sus componentes.
- Para concluir este proyecto, se puede apreciar que el objetivo planteado de monitorear los tanques de almacenamiento de agua potable se cumple satisfactoriamente gracias a la unificación de los dispositivos y en virtud de que los valores visualizados en el sistema se asemejan con un margen de error de 0.0075 a los valores reales, otro punto a verificar es el acceso a la información la cual



se pudo constatar mediante el uso del software ERemote desde donde se tuvo el acceso inmediato a la información desde diferentes lugares.

- La unidad de adquisición y transferencia de variables remotas facilita el acceso a la información corroborando al mejoramiento del servicio de distribución de agua potable pudiendo de esta manera llevar un control eficiente y oportuno.

#### REFERENCES

- [1] C. Pazpuezan, *Nivel de agua en los Tanques de lasubestación Azaya de la EMAPA-I a través de una red basada en IEEE.802.11*. Ecuador: Barcelona, 2013.
- [2] S Guagalango, *Sistema de control y monitoreo de nivel y flujo de agua potable en la estación de reserva y la planata de Tratamiento de Azaya de la EMAPA de Ibarra*. Ecuador: Quito, 2015.
- [3] SICK SENSOR INTELLIGENCE, *Datasheet UM30215113*. 2017.
- [4] UBIQUITI NETWORKS, *Datasheet NanoStationM5*. , 2018.
- [5] CJP TELECOM, *Seguridad en Redes Inalambricas*. 2014.
- [6] Creus, A., *Instrumentación Industrial*. México, 2010.
- [7] INDUSTRIALES, C. S., *Instrumentación Industrial*. 2010.