

Detección de Fugas en la Tubería de la Red Principal del Sistema de Agua Potable de la Junta Administradora de Agua Potable Sumak Yaku – Araque – Otavalo

Henry Cervantes Tafur, Universidad Técnica del Norte (UTN), Ibarra - Ecuador

Resumen – Para detectar fugas en un tramo de tubería, se coloca un dispositivo detector de fugas por caída de presión, este inicia el trabajo de detección en cuanto recibe la orden del sistema principal de control de bombeo, y hasta cuando este lo determine. Durante la detección, el dispositivo toma datos de presión y la compara con el punto de control preestablecido, si es menor durante 20 segundos, se activa una bandera (alarma) con la cual se tomara las respectivas acciones. En una estación se implemento un sistema solar de generación eléctrica para poder alimentar los dispositivos.

Índices – Agua, Detector, Energía solar, Fugas.

I. INTRODUCCIÓN

El agua limpia es un recurso indispensable para el ser humano, por lo que las contaminaciones provocadas por aberturas pequeñas o grandes en las tuberías de distribución pueden desembocar en intoxicaciones masivas.

De las muchas opciones disponibles para la conservación del agua, la detección de fugas es un primer paso lógico. Un programa de detección de fugas puede ser altamente visible, animando a las personas a pensar acerca de la conservación del agua antes que se les pida tomar acción para reducir sus propios niveles de consumo de agua.

La junta administradora de agua Sumak-Yaku da servicio a aproximadamente 9300 usuarios de las 8 comunidades por lo que al realizar esta detección de fugas resulta de alto impacto social.

Este proyecto concluye en un dispositivo versátil que fácilmente se adecua a las necesidades de la junta administradora de agua potable Sumak Yaku, y que puede adecuarse a cualquier otro sistema de bombeo de agua.

Este trabajo fue apoyado por la Junta Administradora de Agua potable “Sumak-Yaku”.

H. Cervantes, es egresado de la carrera de Ingeniería en Mecatrónica de la Universidad Técnica del Norte, Ibarra-Ecuador,
(e-mail: henrycervantestafur@hotmail.com).

J. Terán, es Profesor en la Universidad Técnica del Norte, Ibarra-Ecuador,
(josh_tb@hotmail.com).

II. DETECCIÓN DE FUGAS

A. Parámetros del sistema de captación.

Inicialmente el sistema de bombeo y almacenamiento de agua tiene varios inconvenientes, al estar atravesando varios terrenos en los que se desarrolla la actividad agrícola y por los que transita maquinaria pesada, el sistema está sometido a constantes fisuras y en el peor de los casos rupturas de sus tuberías, por otra parte las tuberías antiguas y pobremente construidas, el inadecuado control de la corrosión, el mantenimiento pobre de válvulas y el daño mecánico son algunos de los factores contribuyentes a las fugas. Una consecuencia de la fuga de agua, aparte de la pérdida de los recursos de agua y de las pérdidas por costos operativos, es la reducción de la presión en el sistema de abastecimiento, normalmente se trataría de elevar la presión para compensarlo aunque esto empeoraría las fugas, sin embargo no es posible porque este sistema no dispone de funciones de regulación de parámetros y trabaja con sus bombas a la máxima capacidad.

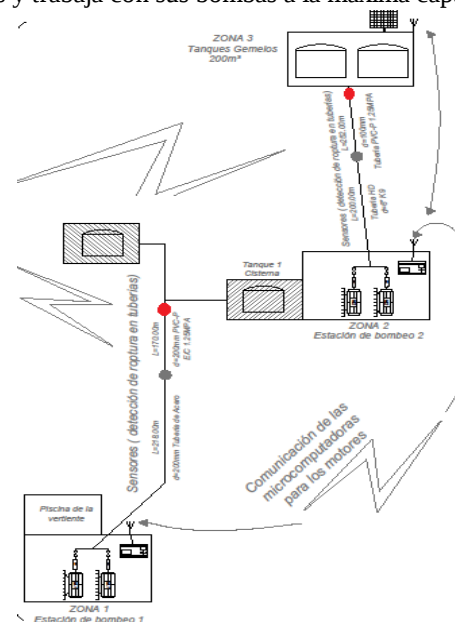


Fig 1 Plano representativo

B. Disposición geográfica del sistema

A orillas de lago San Pablo se encuentra la comunidad de Araque, en donde existen varias vertientes de agua, en la vertiente más representativa ubicada en las coordenadas 0° 12'32''N 78° 12'25''W (ver Fig 2) se construyó una piscina recolectora y se ubicaron dos bombas (ver Fig 3), con ellas se eleva el fluido hasta dos tanques reservorios ubicados 91m sobre este nivel en las coordenadas 0° 12' 43''N 78° 12' 30W, en este sitio se ubica un dispositivo de detección de fugas, este cubrirá el primer tramo de tubería que va desde las bombas de la vertiente hasta la bifurcación en Y de desfogue a los tanques intermedios (Zona 2, Ver Fig 1en punto rojo), aquí tenemos dos bombas más (Ver Fig 4) con las que se eleva el fluido hasta otros dos tanques reservorios llamados “Tanques Gemelos” (Ver Fig 5)ubicados 116 m más arriba en las coordenadas 0° 12' 51''N 78° 12' 18''W, en este punto no se cuenta con energía eléctrica de la red pública, aquí se ubica otro dispositivo de detección de fugas, este cubrirá el segundo tramo de tubería que va desde las bombas de la zona 2 hasta la salida a los tanques gemelos (Zona 3, Ver Fig 1 en el punto rojo), en esta parte en vista de que no llega la energía eléctrica de la red pública, para poder alimentar a los equipos, se instala un sistema de generación fotovoltaica que es la fuente de energía más adecuada por las condiciones naturales de la zona.



Fig 2 Piscina recolectora en vertiente de agua



Fig 3 Grupos motor – bomba en la vertiente de Araque



Fig 4 Grupos motor – bomba estación dos



Fig 5 Tanques gemelos estación tres

C. Parámetros de la tubería.

Se divide en dos tramos:

Tabla I
Parámetros de las tuberías del sistema de bombeo

	Primer tramo		Segundo tramo	
Longitud	218m	170m	200m	252m
Diámetro	200mm	200mm	150mm	150mm
Material	ACERO	PVC	Hierro HG	PVC

D. Parámetros de funcionamiento de los sensores

Los sensores que van a colocarse estarán funcionando bajo las siguientes condiciones:

Tabla II
Parámetros de trabajo de los sensores

Parámetros físicos	
Presión máxima	14 bar
Temperatura ambiente mínima	1 °C
Temperatura ambiente máxima	25 °C

Humedad Relativa promedio	Entre 76% y 79%
Altura (msnm)	Entre 2300 y 2500
Biodiversidad	Flora y Fauna controladas
Alimentación Solar	
Radiación	5450 Wh/m2
Contaminación	Nula
Ángulo de incidencia solar	De 10 a 160 °C
Parámetros Eléctricos	
Consumo energético tablero	Determinado sig. Cap.

E. Energía solar y generación eléctrica

Ecuador se encuentra en una zona privilegiada por los recursos naturales, por lo que tiene un alto potencial para generar energía eléctrica limpia a partir de recursos renovables, existen fundamentalmente tres fuentes de energía: el sol, energía nuclear y geotermia, y finalmente en menor cantidad la energía producida por movimientos lunares. La energía solar directa o indirecta es la fuente principal de energía del planeta, una de estas formas de energía es la radiación solar.

La zona de Imbabura presenta una alta incidencia de radiación solar, aproximadamente un promedio anual de insolación global de 5450 Wh/m2/día (Ver Fig 6), de acuerdo al Atlas Solar del Ecuador con fines de generación eléctrica creado por el CONELEC (Consejo Nacional de Electricidad)

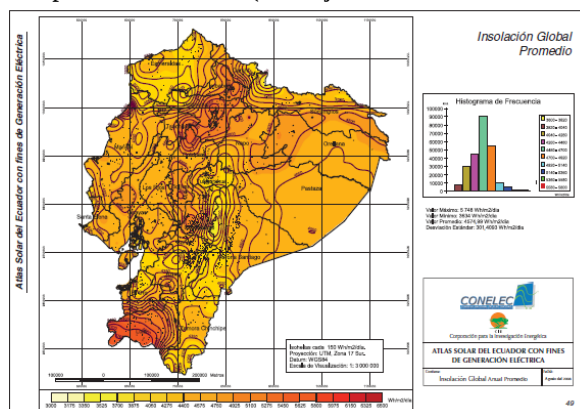


Fig 6 Mapa solar del Ecuador
Fuente: Atlas de Insolación CIE, 2008

La generación se da lugar por efecto de un fenómeno físico llamado “efecto fotovoltaico”, a través de celdas fotovoltaicas convierte la luz del sol en electricidad. Estas celdas están conformadas en capas por células fotovoltaicas fabricadas de silicio puro con adición de impurezas de boro y fósforo y son capaces de generar cada una corrientes de 2 a 4 amperios, a un voltaje de 0.46 a 0.48 voltios a partir de la radiación luminosa, Una parte de la radiación se pierde por reflexión o por atravesar la celda, sin embargo, la mayor parte de radiación incidente provoca un salto de electrones de una capa a la otra generando una corriente proporcional a la incidencia de radiación.

III. DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE LOS INSTRUMENTOS

El detector propuesto de fuga significativa o ruptura de tubería trabaja fundamentándose en la conservación de presión en un punto a lo largo del tiempo, este instrumento detectara fugas por caída de presión en un ambiente de fluido en movimiento por lo que tiene respuesta inmediata, evitando así pérdidas.

A. Descripción de bloques del detector de fugas

El detector de fugas se encuentra dividido en módulos de acuerdo a la función que realizan, esto nos permite un mejor análisis y verificación de operación, los módulos se muestran en las figuras: Fig 7, Fig 8

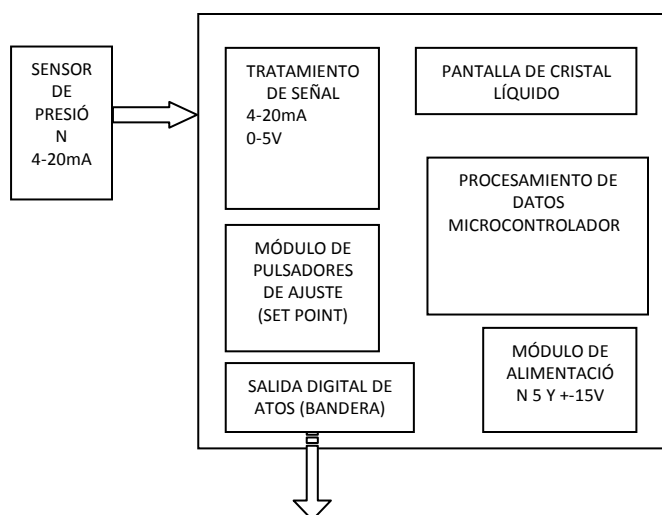


Fig 7 Módulos que forman el detector de fugas segunda estación

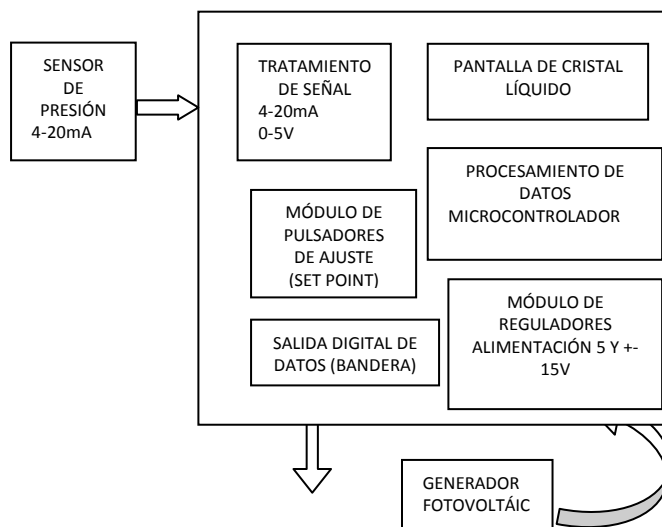


Fig 8 Módulos que conforman el detector de fugas de la estación tres.

Todos los módulos se encuentran en una sola tarjeta, teniendo fuera de ella únicamente el sensor de presión, la

fuente de alimentación y la pantalla de cristal líquido. Los dos dispositivos a instalarse son básicamente similares, su diferencia radica en la entrada de energía eléctrica al módulo de alimentación.

B. Diseño y Construcción de las tarjetas electrónicas

Después de haber diseñado las tarjetas, (Ver Fig 9) se recorta la baquelita del tamaño ya definido, luego se traspasa el diseño hacia la placa, quedando en la baquelita únicamente las pistas dibujadas, se comprueba continuidad en las pistas y se procede a perforar y soldar los componentes electrónicos (Ver Fig 10).



Fig 9 Diseño en PCV Wizard de placa del dispositivo detector de fugas

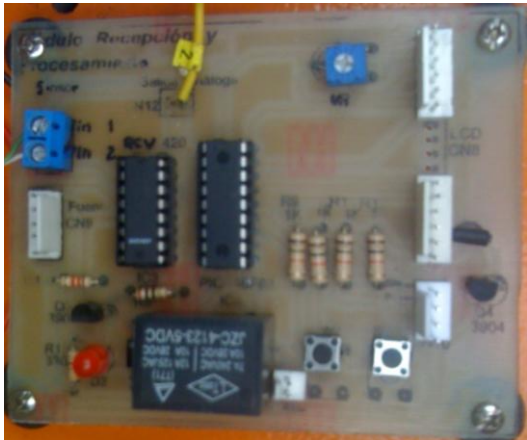


Fig 10 Placa del dispositivo detector de fugas

C. Dimensionamiento del sistema de generación de energía eléctrica fotovoltaica

Para dimensionar el sistema de generación fotovoltaica es necesario conocer la demanda de energía por parte de los equipos y la energía solar real disponible; de acuerdo a esto tenemos:

Tabla III
Valores de consumo máximo

Equipo	V(V)	I (A)	Potencia máxima (W)	Utilización (hora/día)	Wh/día
Detector de fuga	5	0.080	0.40	3	1.20
Detector de fuga	24	0.025	0.60	3	1.80
Detector de fuga	±12	0.010	0.12	3	0.36
Comunicaciones	5	1.25	7.50	3	22.5
Total					25.86

A partir de este valor y del valor de radiación promedio del sitio, se calcula el número de paneles solares requerido y el banco de baterías. Este cálculo se lo resume en la siguiente tabla:

Tabla IV
Dimensionamiento del sistema de generación solar

Dimensionamiento de un sistema fotovoltaico			
Determinación de las cargas			
Nº	Datos	Valor	Descripción
1	Cargas en CC (Wh/día)	25,86	
2	Cargas en CA (Wh/día)	48,00	1 carga 110V 20W x 2h /día + factor de perdidas en inversor
Corriente pico del modulo			
3	Cargas total (Wh/día)	73,86	Sumatoria de cargas CC + CA
4	Tensión CC del sistema (V)	24,00	Dato requerido
5	Carga diaria corriente CC (Ah)	3,08	Nº 3 / Nº 4
6	Factor de seguridad(perdidas)	1,20	Pérdidas del sistema
7	Carga corriente corregida (Ah)	3,70	Nº 5 * Nº6
8	Radiación solar (KWh/m2)	5,40	Valor obtenido del atlas solar
9	Corriente pico del sistema (A)	0,68	Nº 7 / Nº 8
Dimensionamiento de modulo FV			
9	Corriente pico del sistema (A)	0,68	
10	corriente pico modulo (A)	0,55	Información del módulo
11	Arreglo de módulos	1,24	Nº 9 / Nº 10
12	módulos en paralelo	1,00	Redondear Nº 11
4	Tensión CC nominal del sistema (V)	24,00	
13	Tensión CC nominal del modulo (V)	12,00	Información del módulo
14	Módulos en serie	2,00	Nº 4 / Nº 5
15	Número total de módulos	2,00	Nº 12 * Nº 14
Dimensionamiento del banco de baterías			
7	Carga CC Total diaria (Ah)	3,70	
16	Días de reserva	3,00	De acuerdo a la nubosidad del lugar estudiado
17	Capacidad nominal Banco Bat requerida(Ah)	11,10	Nº 7 * Nº 16
18	Profundidad de descarga	0,80	Información de baterías
19	Capacidad corregida Banco Baterías (Ah)	13,88	Nº 17 / Nº18

20	Capacidad nominal batería (Ah)	7,00	Información de baterías
21	Arreglo de batería en paralelo	1,98	Nº 19 / Nº20
22	Redondeo paralelo	2,00	Redondear Nº21
4	Tensión CC nominal del sistema (V)	24,00	
23	Tensión CC nominal de batería (V)	12,00	Información de batería
24	Número baterías en serie	2,00	Nº 4 / Nº23
25	Número total de baterías	4,00	Nº 22 * Nº24
Dimensionamiento del Inversor			
26	Carga máxima continua CA(W)	0	NA
27	Carga máxima pico CA(W)	0	NA
28	Carga máxima continua del inversor (W)	0	NA
29	Capacidad máxima pico CA del inversor (W)	0	NA
Capacidad de la unidad de control			
9	Corriente pico del sistema (Ah)	0,68	

Por lo tanto, para poder cubrir la demanda de 73,86 Wh/día teniendo en cuenta toda la carga en corriente continua más una posible carga en corriente alterna de 48Wh/día (por ejemplo: una luminaria de 20W, 110V durante dos horas día), o un excedente de 48Wh/día en CC(por ejemplo: 10 luminarias de leds de 5W), se deben usar dos módulos fotovoltaicos conectados en serie de 12V cada uno para obtener 24V, en el mercado se encuentran paneles de varias denominaciones, para nuestro efecto se selecciona el panel “ZT-10 poly” de Zytech modules , es de 12V y de 0.55 A de corriente pico.

Para escoger el controlador de carga se tiene en cuenta el valor de corriente pico del sistema, este es 0,68 Ah, en el mercado el de menor capacidad es de 5 Ah este es de marca Phocos serie CML 05

Sin embargo, respondiendo a requerimientos especiales de conexión de las tarjetas electrónicas tales como la necesidad de una fuente simétrica de $\pm 12V$, y teniendo como base los datos arrojados de los cálculos, se usaron cuatro paneles solares, cuatro baterías y dos controladores de carga.

D. Montaje

Las tarjetas respectivas a cada estación se montaron en una caja metálica de uso industrial en la que se adicionaron tarjetas electrónicas del sistema de comunicación (Proyecto complementario a este tema) por motivos principalmente de fuente de alimentación compartida además de reducción de espacio, estética y reducción de costos, aspecto muy significativo para la JAAP Sumak-Yaku y se conectaron con cable flexible #20 AWG. Ver Fig 11



Fig 11 Tablero industrial Estación dos

Después del montaje se realiza en la estación dos y tres las siguientes pruebas:

1. Fuente (Generación solar en estación tres)
2. Módulo de tratamiento de señal (Linealidad)
3. Visor LCD
4. Pulsadores
5. Procesamiento de datos (ADC)
6. Memoria eeprom
7. Módulo de E/S digitales
8. Salida análoga
9. Transmisor de presión (Linealidad)

Luego se procede a la implementación en cada estación.



Fig 12 Paneles fotovoltaicos instalados sobre el techo

IV. EXPERIMENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

A. Prueba y resultados del dispositivo de la estación dos

Durante siete días se toman datos de presión mientras está en marcha el proceso de bombeo, obteniendo en promedio los siguientes resultados

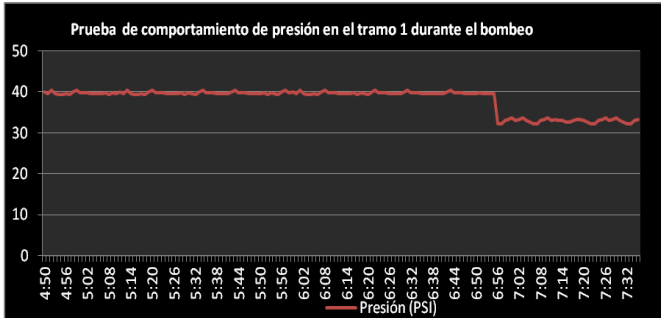


Fig 13 Prueba de dispositivo en el primer tramo.

La variación que se observa aproximadamente a las 6:55 se debe a la manipulación de las válvulas para cambiar de dirección de flujo de agua hacia el otro tanque, para evitar esa variación, se considera la posibilidad de regular las válvulas a una posición fija en la que se inyecte igual cantidad de agua a los dos tanques al mismo tiempo, pero, esto no se realizó debido a las características de las válvulas que no son diseñadas para trabajar en posiciones intermedias, sino solo abiertas por completo, ó cerradas por completo. Por lo que basados a los datos obtenidos, se observa que la presión más baja es 31,00 PSI, y se resuelve establecer el punto de control en 30 PSI, si el dispositivo detecta presiones menores a 30 PSI constantes durante 15 segundos seguidos, la alarma se activa en vista de que existe una posible fuga.

B. Pruebas y resultados del dispositivo de la estación tres

En esta estación los dos tanques están unidos a través de vasos comunicantes.

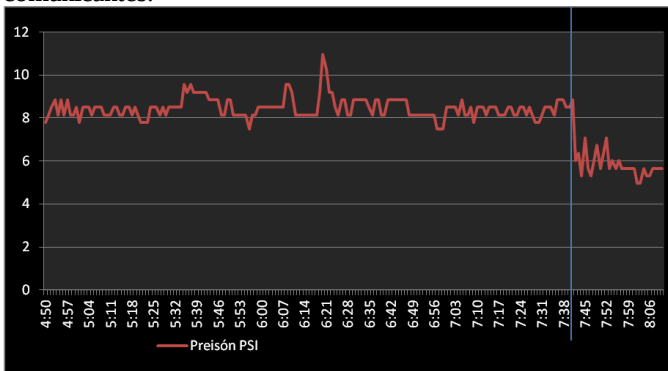


Fig 14 Prueba de dispositivo en el segundo tramo

Debido a que el valor de la señal de presión obtenida en esta estación es bajo, se tomó muestras de presión durante y después del bombeo, para poder definir el valor del punto de control sin errores, la línea azul indica el momento en que se

termina el bombeo, por lo que se puede observar en el gráfico que: durante el bombeo el valor promedio de presión es de 8 psi y el valor después del bombeo baja a 6 psi y disminuye con el tiempo, por lo que se decide establecer el punto de control en 7 psi.

Cabe señalar que las pruebas se realizaron bajo condiciones normales de funcionamiento, para probar el dispositivo ante una condición de falla de funcionamiento (fuga), es necesario simular una fuga u otro problema que ocasione una caída de presión, como por ejemplo apagar el grupo motor-bomba.

Para la JAAP cada arranque de los motores por ser de gran potencia y no poseer arrancadores suaves, representa un alto costo en su planilla de consumo eléctrico, por lo que para probar el desempeño de los dispositivos detectores de fugas, y no causar costo alguno, se decidió instalar el sensor sobre una Tee para colocar en la otra punta una válvula de paso que nos facilite controlar la presión liberando liquido a conveniencia.

C. Pruebas del sistema completo de automatización

Una vez completada la conexión de todo el sistema de automatización de bombeo, esto es la unión de los proyectos de tesis que lo conforman: “Automatización del bombeo”, “Detección de Fugas”, y “Transmisión de datos”, en el HMI de la oficina de la junta administradora de agua potable “Sumak-Yaku” se observó el funcionamiento correcto del sistema en conjunto; para ver el desempeño del HMI con respecto a las fallas se ha simulado:

1. Llegada de datos y clasificación

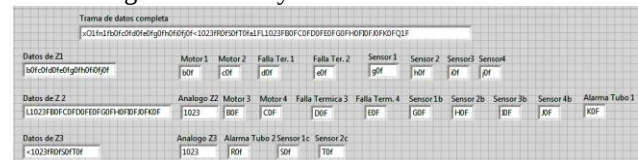


Fig 15 Trama de datos y su clasificación

2. Bombeo motor 1 de zona 1, motores de zona 2 y sus respectivos niveles en cada tanque de reservas y vertiente.

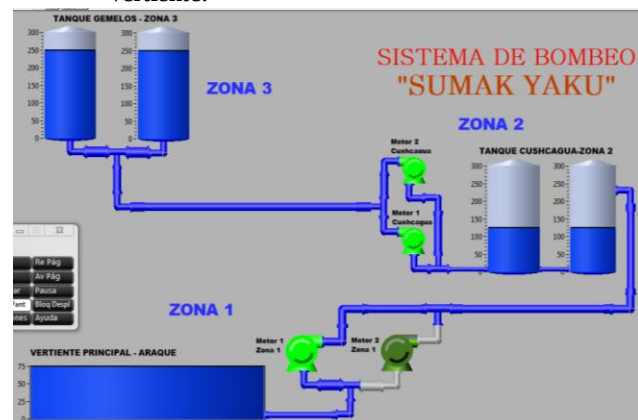


Fig 16 Funcionamiento de motores y niveles en tanques

3. En caso de existir falla de tubería en el tramo de la zona 1 a zona 2

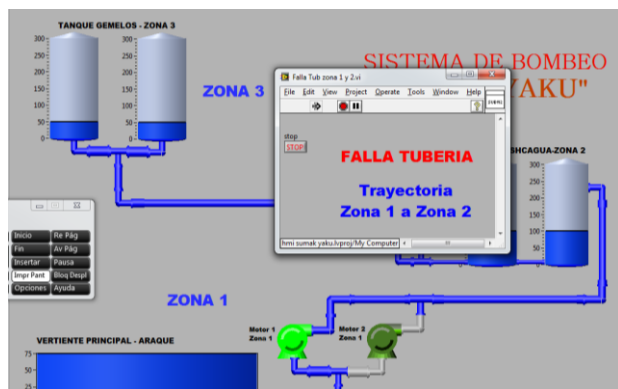


Fig 17 Falla de tubería de zona 1 a zona 2

4. En caso de existir falla de tubería en el tramo de la zona 2 a zona 3

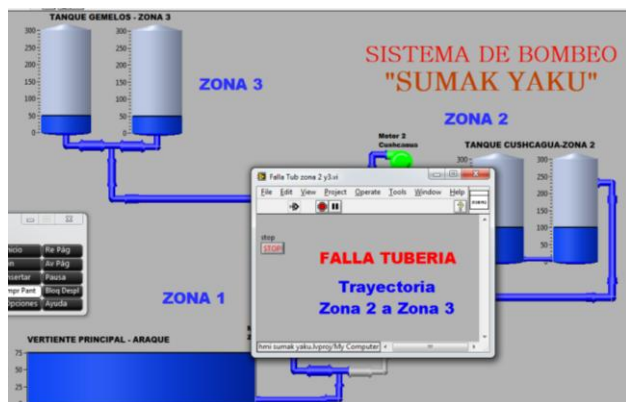


Fig 18 Falla de tubería de zona 2 a zona 3

5. Falla en Motor 1 de zona 1

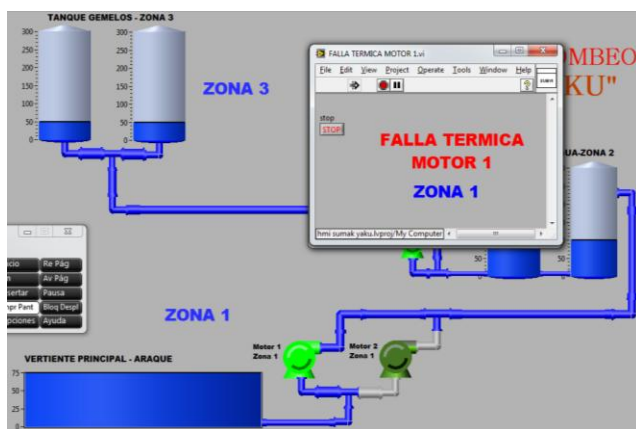


Fig 19 Falla Térmica motor 1 zona 1

6. Falla en Motor 2 de zona 1

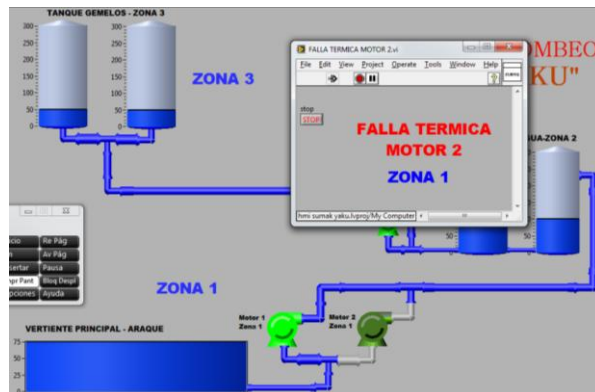


Fig 20 Falla térmica motor 2 zona 1

7. Falla en Motor 1 de zona 2

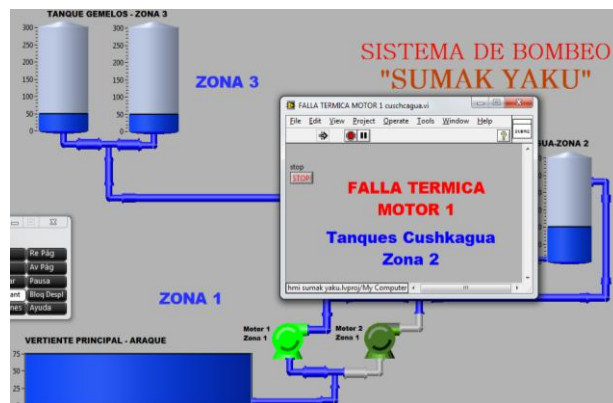


Fig 21 Falla térmica motor 1 zona 2

8. Falla en Motor 2 de zona 2

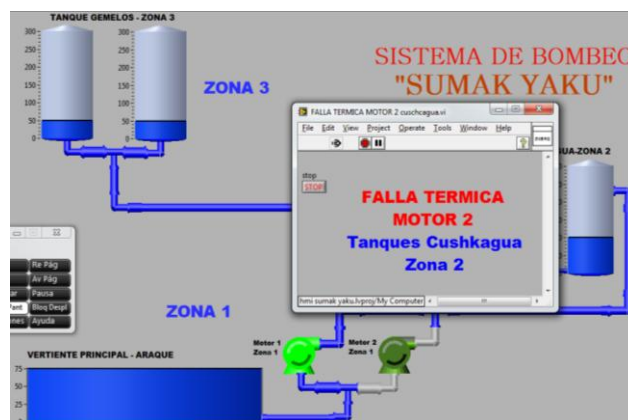


Fig 22 Falla térmica motor 2 zona 2

9. Apagado de motores y medida de sensores de nivel

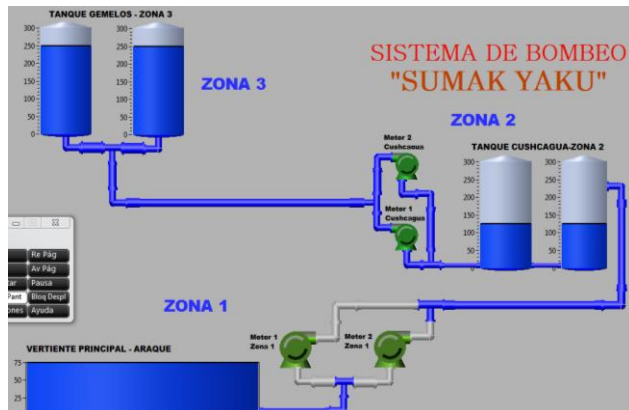


Fig 23 Medición del sistema principal de bombeo las 24 horas

Con estas pruebas se obtienen resultados satisfactorios que demuestran el correcto funcionamiento del sistema de automatización

V. CONCLUSIONES

El resultado final de este trabajo de tesis, es un dispositivo que permite detectar a tiempo fugas de agua o problemas que presente el sistema de bombeo o tuberías, y actuar de forma inmediata para evitar pérdidas económicas.

Existen sistemas de detección de fugas comerciales que pueden ser muy precisos para encontrar el lugar de la fuga, estos dispositivos son muy costosos, pero pueden emplearse como complemento a este proyecto para disminuir el tiempo de búsqueda en vista de que son dos tramos de tubería de 400 metros de largo cada uno, se recomienda el uso de detectores de fugas basados la medición de caudal, sin embargo como el proyecto es para la JAAP y de bajo costo se debe optar por realizar una inspección visual en caso de detectarse fugas.

Como el dispositivo reacciona también ante otros problemas, en caso de alarma se debe primero revisar el problema usando la tabla de solución de problemas de acuerdo a la lectura entregada por el dispositivo.

El sistema de alimentación eléctrica por energía solar es la mejor solución en ambientes que presentan ese tipo de características climatológicas, actualmente no puede excederse la carga más de lo que está indicado en el sobredimensionamiento determinado, sin embargo, el sistema de alimentación fotovoltaica es versátil, puede fácilmente expandirse en caso de requerir mayor energía.

Por su diseño modular claramente identificable en la tarjeta principal, puede fácilmente identificarse y solucionarse cualquier problema.

VI. AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen la colaboración prestada al ingeniero J Terán y al ingeniero M Gavilanes por la orientación de este proyecto.

VII. REFERENCIAS

Libros:

- [1] Collaguazo, G. "Sistemas Microprocesados".
- [2] CONELEC. (2007). "Atlas Solar del Ecuador". Recuperado el Enero de 2011, de www.conelec.gob.ec
- [3] Creus A. "Instrumentación Industrial", Sexta Edición. Grupo Editor Alfomega S.A. Santafé de Bogotá 1999
- [4] Giles, R. V. "Mecánica de los fluidos e hidráulica". Edición Editorial Mc Grawhil.
- [5] Limited, X. C. (n.d.). Fabricantes del transmisor de presión. Retrieved Enero 2011, from www.websensor.com/en/docc/productobrow.asp?id=17
- [6] Ogata, K. "Ingeniería de Control Moderna". Tercera Edición. Publicada por Prentice-Hall Hispanoamerica S.A. 1998 México
- [7] Publishers, N. S. (2006). "PHOTOVOLTAICS Design and Intalation Manual". Gabriola Island, Canada.
- [8] RASHID. "Electrónica de Potencia". Segunda Edición. Publicada por Prentice-Hall Hispanoamerica S.A.1995 México
- [9] REYES, C. "Microcontroladores PIC".
- [10] Wikipedia. Enciclopedia Libre. Recuperado el Enero de 2011, de es.wikipedia.org/wiki/Principio_de_Bernoulli

Tesis:

- [11] Cervantes, H. "Detección de Fugas en la Tubería de la Red Principal del Sistema de Agua Potable de la Junta Administradora de Agua Potable Sumak Yaku – Araque – Otavalo" Proyecto de titulación, Universidad Técnica del Norte, Ibarra, Ecuador. Julio. 2012.

VIII. BIOGRAFÍAS



Henry Cervantes Tafur, nació en Ibarra-Ecuador el 14 de Noviembre de 1983. Realizó sus estudios secundarios en el Colegio San Francisco. Colegio Teodoro Gómez de la Torre. Egreso en la Universidad Técnica del Norte de la carrera de Ingeniería en Mecatrónica en el 2011. Actualmente es Propietario de una empresa de servicios industriales

Áreas de interés: Automatización y control industrial, microcontroladores, mantenimiento industrial, energías renovables, robótica industrial. (henrycervantestafur@hotmail.com).



Jorge Terán Benalcázar, nació en Cotacachi-Ecuador el 13 de Octubre de 1977. Realizó sus estudios secundarios en el Instituto Superior Central Técnico. Se graduó en la Escuela Politécnica Nacional como Ingeniero en Electrónica y Control en 2003. Actualmente es Profesor en la Universidad Técnica del Norte.

Áreas de interés: Automatización y control industrial, microcontroladores, visión artificial, robótica industrial. (josh_tb@hotmail.com).