

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA ELECTRÓNICO PARA EL  
MEJORAMIENTO DEL SERVICIO DE AGUA POTABLE DEL ACUEDUCTO  
PIENDAMÓ-MORALES

TULIO HERNÁN LEÓN DAZA

UNIVERSIDAD DEL CAUCA  
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES, EXACTAS Y DE LA EDUCACIÓN  
INGENIERÍA FÍSICA  
POPAYÁN  
2008

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA ELECTRÓNICO PARA EL  
MEJORAMIENTO DEL SERVICIO DE AGUA POTABLE DEL ACUEDUCTO  
PIENDAMÓ-MORALES

TULIO HERNÁN LEÓN DAZA

Trabajo de Grado para optar por el Título de  
Ingeniero Físico

Director  
DIEGO ALBERTO BRAVO  
Ingeniero Físico

UNIVERSIDAD DEL CAUCA  
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES, EXACTAS Y DE LA EDUCACIÓN  
INGENIERÍA FÍSICA  
POPAYÁN  
2008

Nota de aceptación:

---

---

---

---

---

---

---

Director: Ing. Diego Alberto Bravo.

---

Jurado: Mag. Jorge W. Coronel G.

---

Jurado: Ing. Javier Cortés Carvajal.

Fecha de sustentación: Popayán 10 de Abril de 2008

## LISTA DE TABLAS

|   |    |
|---|----|
| Tabla 1. Factores de conversión para unidades comunes de presión..... | 10 |
| Tabla 2. Características de operación transductor MPX2053GP.....      | 16 |
| Tabla 3. Índices máximos transductor MPX2053GP.....                   | 16 |
| Tabla 4. Índices máximos transductor MSP300.....                      | 25 |
| Tabla 5. Características de operación transductor MSP300.....         | 27 |

## LISTA DE FIGURAS

|  |    |
|--|----|
| Figura 1. Relación entre los términos de presión.....  | 11 |
| Figura 2. Sistema fluido continuo.....   | 12 |
| Figura 3. Medida de presión en la profundidad de un líquido. ....                                      | 12 |
| Figura 4. Medición de la presión estática y dinámica dentro de un sistema fluido. ....                 | 13 |
| Figura 5. Diagrama en bloques del circuito transmisor.....   | 14 |
| Figura 6. Diagrama esquemático del circuito transmisor. ....   | 15 |
| Figura 7. Transductor MPX2053GP.....   | 15 |
| Figura 8. Amplificador diferencial de voltaje. ....  | 17 |
| Figura 9. Amplificador sumador de voltajes. ....   | 17 |
| Figura 10. Configuración de pines LF353. ....  | 18 |
| Figura 11. Configuración de pines del microcontrolador PIC18F452.....                                  | 18 |
| Figura 12. Diagrama de flujo de las instrucciones del microcontrolador. ....                           | 19 |
| Figura 13. Configuración de pines MAX485. ....   | 19 |
| Figura 14. Diagrama en bloques del circuito receptor.....  | 20 |
| Figura 15. Diagrama esquemático del circuito receptor.....   | 20 |
| Figura 16. Diagrama de flujo de las instrucciones del microcontrolador. ....                           | 21 |
| Figura 17. Pantalla LCD HD44780.....   | 22 |
| Figura 18. Teclado numérico. ....  | 22 |
| Figura 19. Diseño esquemático del circuito de alarma. ....   | 23 |
| Figura 20. Circuito integrado 74LS32. ....   | 23 |
| Figura 21. Amplificador operacional comparador.....  | 24 |
| Figura 22. Alarma. ....  | 24 |
| Figura 23. Diagrama en bloques del instrumento de medida de presión. ....                              | 25 |
| Figura 24. Diagrama esquemático del instrumento digital de medida de presión. ....                     | 26 |
| Figura 25. Transductor MSP300.....   | 26 |
| Figura 26. Diagrama de flujo de las instrucciones del microcontrolador. ....                           | 28 |
| Figura 27. Configuración de pines MAX232. ....   | 28 |
| Figura 28. Diagrama en bloques del instrumento portátil para el almacenamiento<br>de información. .... | 29 |
| Figura 29. Diagrama esquemático del instrumento portátil para almacenamiento de<br>información. ....   | 30 |
| Figura 30. Diagrama de flujo de las instrucciones del microcontrolador. ....                           | 31 |
| Figura 31. Presión en el fondo del contenedor en función del número digital<br>correspondiente. ....   | 33 |
| Figura 32. Circuito transmisor.....  | 34 |
| Figura 33. Circuito receptor y circuito de alarma.....   | 34 |
| Figura 34. Sensor de presión DP.....   | 36 |
| Figura 35. Presión en la tubería en función del número digital correspondiente. ....                   | 37 |
| Figura 36. Instrumento digital de medida de presión. ....  | 37 |

|  |    |
|--|----|
| Figura 37. Instrumento portátil para almacenamiento de información. ....       | 38 |
| Figura 38. Esquema transductor de presión MPX2053GP. ....                      | 42 |
| Figura 39. Esquema del circuito trasmisor. ....                                | 43 |
| Figura 40. Esquema circuito receptor. ....                                     | 43 |
| Figura 41. Conexión entre el circuito transmisor y el circuito receptor. ....  | 44 |
| Figura 42. Esquema circuito de alarma. ....                                    | 45 |
| Figura 43. Conexión entre el circuito de alarma y el circuito receptor. ....   | 45 |
| Figura 44. Esquema transductor de presión MSP300. ....                         | 46 |
| Figura 45. Esquema circuito de medición. ....                                  | 47 |
| Figura 46. Cable de conexión al computador. ....                               | 48 |
| Figura 47. Ventana principal de la aplicación Presion.ht. ....                 | 48 |
| Figura 48. Capturar texto en la aplicación Presion.ht. ....                    | 49 |
| Figura 49. Dirección y nombre de archivo en la aplicación Presion.ht. ....     | 49 |
| Figura 50. Detener captura de texto en la aplicación Presion.ht. ....          | 50 |
| Figura 51. Archivo de Excel creado con la aplicación Presion.ht. ....          | 50 |
| Figura 52. Esquema Instrumento portátil para almacenamiento de información. .. | 53 |
| Figura 53. Cable de conexión al computador. ....                               | 54 |
| Figura 54. Ventana principal de la aplicación Lecturas.ht. ....                | 54 |
| Figura 55. Capturar texto en la aplicación Lecturas.ht. ....                   | 55 |
| Figura 56. Dirección y nombre de archivo en la aplicación Lecturas.ht. ....    | 55 |
| Figura 57. Detener captura de texto en la aplicación Lecturas.ht. ....         | 56 |
| Figura 58. Archivo de Excel creado con la aplicación Lecturas.ht. ....         | 56 |

# CONTENIDO

|   |           |
|---|-----------|
| <b>INTRODUCCIÓN.....</b>  | <b>9</b>  |
| <b>1. PRESIÓN Y MEDICIÓN DE PRESIÓN .....</b>                                     | <b>10</b> |
| 1.1 PRESIÓN EN SISTEMAS ESTÁTICOS .....   | 11        |
| 1.2 PRESIÓN EN SISTEMAS DINÁMICOS.....  | 13        |
| 1.2.1 Estado estacionario de sistemas dinámicos. ....                             | 13        |
| <b>2. SISTEMA ELECTRÓNICO.....</b>  | <b>14</b> |
| 2.1 INSTRUMENTO DE MONITOREO DEL NIVEL DE AGUA DEL TANQUE DE ALMACENAMIENTO ..... | 14        |
| 2.1.1 Circuito transmisor.....  | 14        |
| 2.1.2 Medio físico de comunicación del instrumento. ....                          | 19        |
| 2.1.3 Circuito receptor. ....   | 19        |
| 2.1.4 Circuito de alarma.....   | 23        |
| 2.2 INSTRUMENTO DIGITAL DE MEDIDA DE PRESIÓN.....                                 | 24        |
| 2.2.1 Componentes. ....   | 25        |
| 2.3 INSTRUMENTO PORTÁTIL PARA ALMACENAMIENTO DE INFORMACIÓN.....                  | 29        |
| 2.3.1 Componentes.: ....  | 29        |
| <b>3. RESULTADOS Y ANÁLISIS.....</b>  | <b>32</b> |
| 3.1 INSTRUMENTO DE MONITOREO DEL NIVEL DE AGUA DEL TANQUE DE ALMACENAMIENTO ..... | 32        |
| 3.1.1 Resolución teórica del instrumento.:.....                                   | 32        |
| 3.1.2 Caracterización.....  | 33        |
| 3.1.3 Implementación. ....  | 34        |
| 3.2 INSTRUMENTO DIGITAL DE MEDIDA DE PRESIÓN.....                                 | 35        |
| 3.2.1 Resolución teórica del instrumento.....                                     | 35        |
| 3.2.2 Caracterización.....  | 36        |
| 3.2.3 Implementación. ....  | 37        |
| 3.3 INSTRUMENTO PORTÁTIL PARA ALMACENAMIENTO DE INFORMACIÓN.....                  | 38        |
| 3.3.1 Implementación. ....  | 38        |
| <b>4. CONCLUSIONES.....</b>   | <b>39</b> |
| <b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>  | <b>40</b> |
| <b>ANEXO A MANUAL DE USUARIO .....</b>  | <b>42</b> |

|   |    |
|---|----|
| A.1. INSTRUMENTO DE MONITOREO DE NIVEL DE AGUA DEL TANQUE DE ALMACENAMIENTO ..... | 42 |
| A.1.1. Características. ....  | 42 |
| A.1.2. Transductor de Presión MPX2053GP. ....                                     | 42 |
| A.1.3. Circuito Transmisor.. ....   | 42 |
| A.1.4. Circuito Receptor.....   | 43 |
| A.1.5. Circuito de Alarma. ....   | 45 |
| A.2. INSTRUMENTO DIGITAL DE MEDIDA DE PRESIÓN .....                               | 46 |
| A.2.2. Transductor de Presión MSP300.....   | 46 |
| A.2.3. Circuito de Medición .....   | 45 |
| A.3. INSTRUMENTO PORTÁTIL PARA ALMACENAMIENTO DE INFORMACIÓN.. ....               | 52 |
| A.3.1. Características .....  | 52 |
| A.3.2. Menú de funciones.....   | 51 |



## INTRODUCCIÓN

El Acueducto Piendamó Morales (APM) tiene una planta de tratamiento de agua ubicada en el casco urbano del municipio de Piendamó. Esta es la encargada de potabilizar el agua proveniente del río Piendamó y luego distribuirla a más de 4500 familias de los municipios de Morales y Piendamó. En este acueducto se requiere la implementación de un instrumento para monitorear el nivel de agua del tanque de almacenamiento; ya que esta labor se dificulta a los operarios de la planta de tratamiento porque este tanque está ubicado a 100 metros de distancia de su sitio de trabajo. También se requiere otro instrumento que permita la medida de la presión de la tubería principal; con el fin de detectar valores de presión anormales para corregirlos a tiempo y evitar fisuras en la red. Finalmente se necesita un instrumento que permita el registro de la lectura de los contadores de gasto de agua en formato digital; con el fin de disminuir los errores en la facturación del servicio de agua potable. Por lo anterior en este documento se reporta la información concerniente al diseño e implementación de un sistema electrónico que busca cumplir los requerimientos antes mencionados.

En el capítulo 1, Presión y Medición de Presión. Se define el concepto de la presión producida por un fluido, también se mencionan las características de las presiones en los sistemas estáticos y dinámicos.

En el capítulo 2, Sistema Electrónico. Se describe el diseño de los instrumentos de monitoreo de nivel de agua del tanque de almacenamiento, de medida de presión y de almacenamiento de información que componen el sistema electrónico implementado para el APM.

En el capítulo 3, Resultados y Análisis. Se indica las características finales de los instrumentos implementados, también se da a conocer lo referente a la caracterización de los instrumentos de medida.

Finalmente en el capítulo 4, se muestran las conclusiones del proyecto desarrollado.

# 1. PRESIÓN Y MEDICIÓN DE PRESIÓN

La presión de un fluido se define como la medida de la fuerza por unidad de área ejercida por este, actuando perpendicularmente en cualquier superficie en contacto con él. La unidad estándar del Sistema Internacional para la medida de presión es el Pascal (Pa) que es equivalente a un Newton por metro cuadrado (N/m<sup>2</sup>). En el sistema Ingles, la presión se expresa usualmente en libras por pulgada cuadrada (psi). La presión puede ser expresada en diferentes unidades incluyendo en términos de la altura de una columna de líquido. La tabla 1 muestra las unidades de presión usadas comúnmente y los factores de conversión entre estas.

Tabla 1. Factores de conversión para unidades comunes de presión.

|                            | <b>kPa</b> | <b>mm Hg</b> | <b>milibar</b>         | <b>in H<sub>2</sub>O</b> | <b>PSI</b> |
|----------------------------|------------|--------------|------------------------|--------------------------|------------|
| <b>1 atm</b>               | 101.325    | 760.000      | 1013.25                | 406.795                  | 14.6960    |
| <b>1 kPa</b>               | 1.000      | 7.50062      | 10.000                 | 4.01475                  | 0.145038   |
| <b>1 mm Hg</b>             | 0.133322   | 1.000        | 1.33322                | 0.535257                 | 0.0193368  |
| <b>1 milibar</b>           | 0.1000     | 0.750062     | 1.000                  | 0.401475                 | 0.0145038  |
| <b>1 in H<sub>2</sub>O</b> | 0.249081   | 1.86826      | 2.49081                | 1.000                    | 0.0361     |
| <b>1 PSI</b>               | 6.89473    | 51.7148      | 68.9473                | 27.6807                  | 1.000      |
| <b>1 cm H<sub>2</sub>O</b> | 0.09806    | 0.7355       | 9.8 x 10 <sup>-7</sup> | 0.3937                   | 0.014223   |

Las medidas de presión pueden ser divididas en tres diferentes categorías:

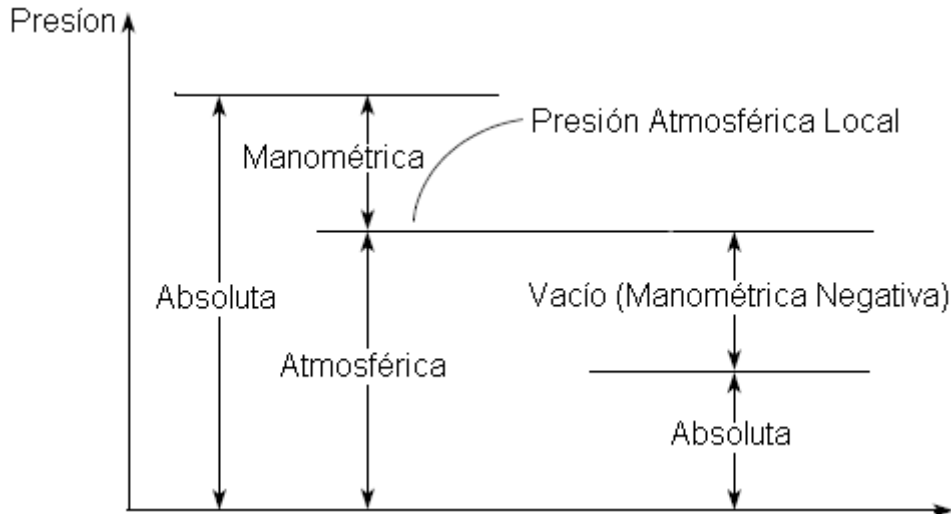
- Presión absoluta.
- Presión manométrica.
- Presión diferencial.

La presión absoluta se refiere al valor absoluto de la fuerza por unidad de área ejercida sobre una superficie por un fluido. Por lo tanto la presión absoluta es la diferencia entre la presión en un punto dado y un fluido en el cero absoluto de presión o un vacío perfecto.

La presión manométrica es la medida de la diferencia entre la presión absoluta y la presión atmosférica local que varia dependiendo de la altitud. Una presión manométrica por convención es siempre positiva. Una presión manométrica negativa es definida como vacío. El vacío es la medida de la cantidad por la cual la presión atmosférica local excede la presión absoluta. Un vacío perfecto está a una

presión absoluta cero. La Figura 1 muestra la relación entre presión absoluta, presión manométrica y vacío.

Figura 1. Relación entre los términos de presión.



La presión diferencial es simplemente la medida de una presión desconocida con referencia a otra presión desconocida. La presión medida es la diferencia entre las dos presiones desconocidas.

## 1.1 PRESIÓN EN SISTEMAS ESTÁTICOS

La presión medida en un sistema estático se llama presión estática. En el sistema de presión que se muestra en la figura 2, un fluido estático uniforme está continuamente distribuido con la presión variando solo en sentido vertical. La presión en el fluido es la misma en todos los puntos a lo largo del mismo plano horizontal y es independiente de la forma del contenedor. La presión se incrementa con la profundidad en el fluido y actúa igualmente en todas las direcciones. El incremento de la presión en el fondo del tanque es esencialmente el efecto del peso del fluido encima del fondo.

La figura 3 muestra dos contenedores con el mismo fluido expuestos a la misma presión externa  $P$ . En cualquier profundidad igual dentro de cada tanque la presión será la misma debido a que la presión solo depende de la profundidad y no tiene nada que ver con la forma del contenedor.

Figura 2. Sistema fluido continuo.

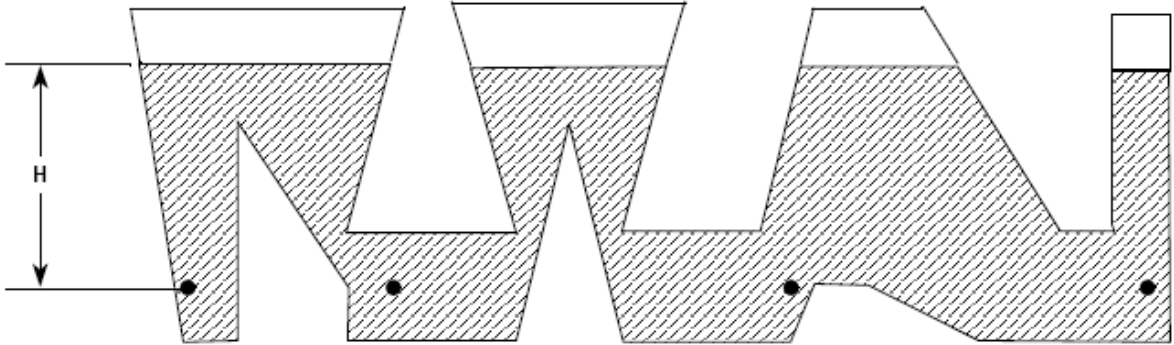
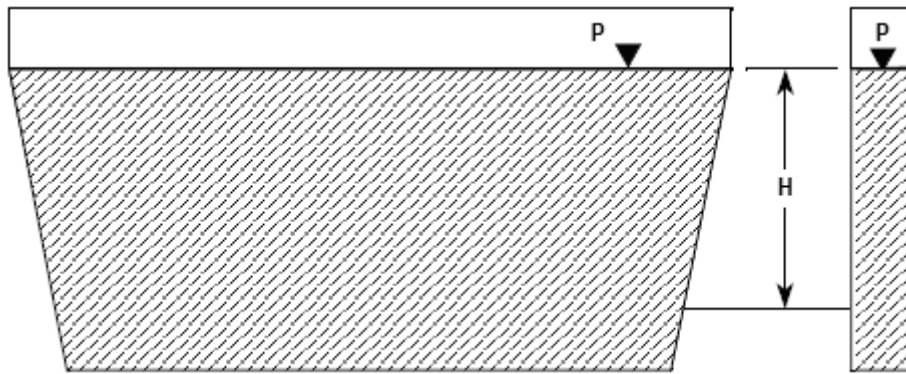


Figura 3. Medida de presión en la profundidad de un líquido.



La presión en un líquido estático puede ser fácilmente calculada si se conoce la densidad del líquido. La presión absoluta a una profundidad  $H$  en un líquido se define como:

$$P_{abs} = P + (\rho \times g \times H) \quad (1)$$

Donde:

$P_{abs}$  es la presión absoluta a una profundidad  $H$ .

$P$  es la presión externa en la parte superior del líquido. Para la mayoría de los sistemas abiertos esta presión será la presión atmosférica local.

$\rho$  es la densidad del líquido.

$g$  es la aceleración de la gravedad.

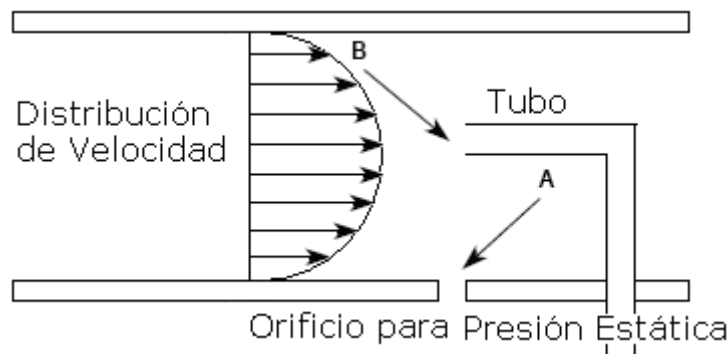
$H$  es la profundidad a la cual se desea conocer la presión.

## 1.2 PRESIÓN EN SISTEMAS DINÁMICOS

Medir la presión en sistemas dinámicos es más complejo que medirla en los sistemas estáticos. En un sistema dinámico, la presión es definida usando tres términos diferentes. La primera presión que se puede medir es la presión estática, esta presión es la misma presión estática que se mide en un sistema estático, es independiente del movimiento del fluido y actúa igual en todas las direcciones. El segundo tipo de presión es la presión dinámica. Este término de presión está asociado con la velocidad del fluido. La tercera presión es la presión total y es simplemente la suma de la presión estática y la presión dinámica.

**1.2.1 Estado estacionario de sistemas dinámicos.** Para un sistema dinámico bajo condiciones de estado estacionario, las presiones estáticas pueden ser medidas por medio de un orificio en la tubería por donde viaja el fluido. Este orificio debe estar ubicado de manera perpendicular al flujo del líquido o gas. Las condiciones de estado estacionario para un sistema dinámico se presentan cuando hay ausencia de cambio en la presión, velocidad de flujo, etc. La figura 4 ilustra un sistema dinámico con un fluido viajando a través de una tubería, en este ejemplo en el punto A es localizado un orificio para medir la presión estática, un tubo insertado en el fluido se utiliza para medir la presión total del sistema en el punto B, la presión total medida en este punto es llamada la presión de estancamiento. La presión de estancamiento es el valor obtenido cuando un fluido en movimiento es desacelerado a velocidad cero, este proceso convierte toda la energía del fluido en movimiento en una presión que puede ser medida. La presión total o de estancamiento es el resultado de la suma de la presión estática más la presión dinámica. Es muy difícil una medida precisa de las presiones dinámicas, cuando se desea la medición de una presión dinámica, las presiones totales y estáticas son medidas y entonces se restan para obtener la presión dinámica. Las presiones dinámicas pueden ser usadas para determinar la velocidad de los fluidos en los sistemas dinámicos.

Figura 4. Medición de la presión estática y dinámica dentro de un sistema fluido.



## 2. SISTEMA ELECTRÓNICO

El sistema electrónico que se diseñó e implementó para el APM consta de tres instrumentos, los cuales son:

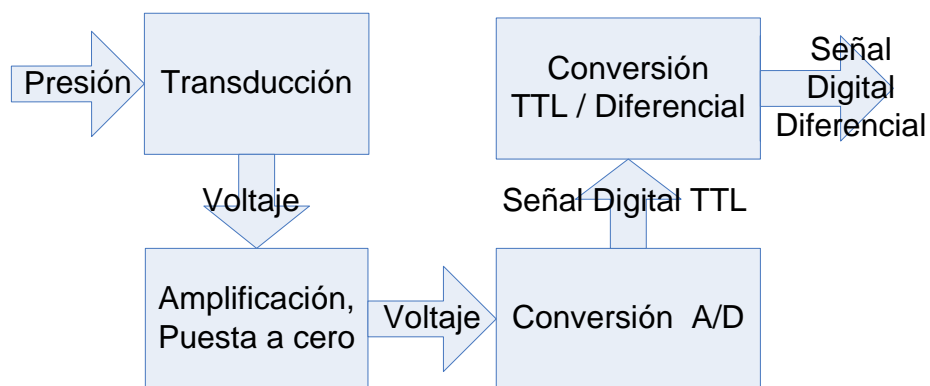
- Instrumento de monitoreo del nivel de agua del tanque de almacenamiento.
- Instrumento digital de medida de presión.
- Instrumento portátil para el almacenamiento de información.

### 2.1 INSTRUMENTO DE MONITOREO DEL NIVEL DE AGUA DEL TANQUE DE ALMACENAMIENTO

Este instrumento consta de tres circuitos: uno emisor ubicado en el tanque de almacenamiento, otro receptor y uno de alarma, ubicados en la sala de trabajo de los operarios de la planta de tratamiento.

**2.1.1 Circuito transmisor.** El circuito transmisor es el encargado de medir el valor de la presión en el fondo del tanque de almacenamiento y enviar esta información al circuito transmisor.

Figura 5. Diagrama en bloques del circuito transmisor.

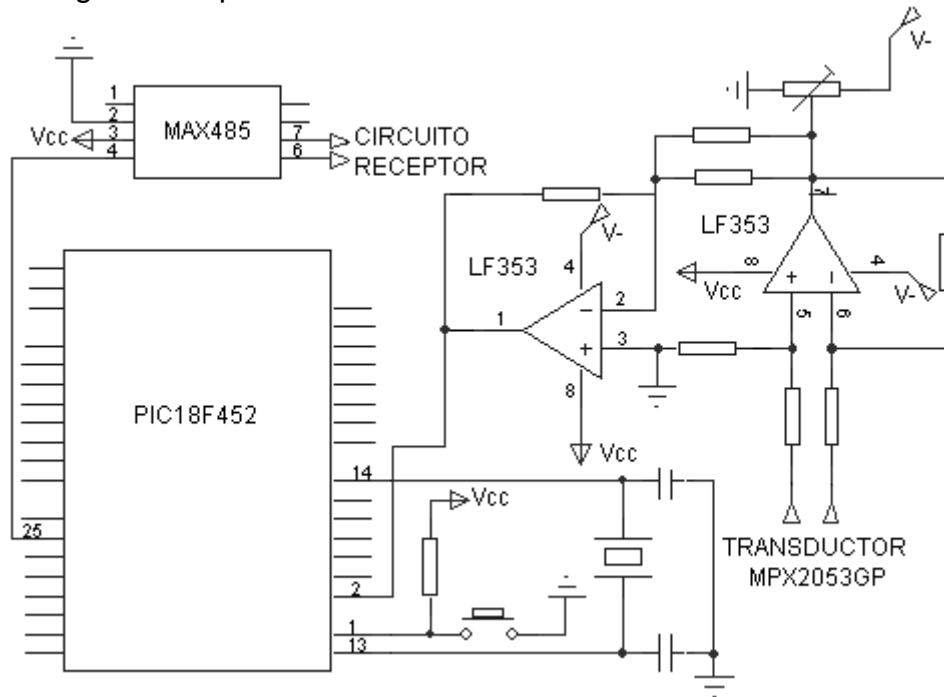


**Componentes.** Los componentes del circuito transmisor son los siguientes:

- Transductor de presión MPX2053GP.

- Amplificador operacional LF353.
- Microcontrolador PIC18F452.
- Transmisor MAX485.

Figura 6. Diagrama esquemático del circuito transmisor.



**Transductor de Presión MPX2053GP.** Para el circuito transmisor se hizo uso de un transductor de presión ya que según la ecuación (1), conociendo el valor de la presión en el fondo del tanque, se puede conocer el valor de altura de la columna de agua que produce esta presión. Este transductor es un dispositivo manométrico que funciona a base de elementos piezoresistivos de silicio que proporcionan una alta precisión y una salida de voltaje lineal directamente proporcional a la presión aplicada, posee además un compensador de temperatura desde 0°C hasta +85°C.

Figura 7. Transductor MPX2053GP.

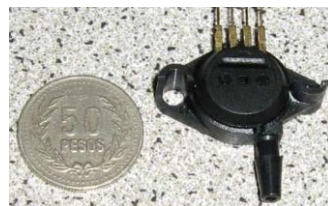


Tabla 2. Características de operación transductor MPX2053GP.

| Característica                 | Símbolo          | Min. | Tip. | Máx. | Unidad |
|--------------------------------|------------------|------|------|------|--------|
| Rango de presión.              | P                | 0    | -    | 50   | Kpa    |
| Voltaje de alimentación.       | V <sub>S</sub>   | -    | 10   | 16   | Vdc    |
| Corriente de alimentación.     | I <sub>O</sub>   | -    | 6.0  | -    | mAdc   |
| Full Scale Span <sup>1</sup> . | V <sub>FSS</sub> | 38.5 | 40   | 41.5 | mV     |
| Offset <sup>2</sup> .          | V <sub>OFF</sub> | -1.0 | -    | 1.0  | mV     |
| Sensibilidad.                  | ΔV/ΔP            |      | 0.8  |      | mV/KPa |
| Impedancia de entrada.         | Z <sub>IN</sub>  | 1000 |      | 2500 | Ω      |
| Impedancia de salida.          | Z <sub>OUT</sub> | 1400 |      | 3000 | Ω      |
| Response Time <sup>3</sup> .   | t <sub>R</sub>   |      | 1.0  |      | Ms     |

<sup>1</sup> Full Scale Span (Escala completa de barrido): Se define como la diferencia algebraica entre la salida de voltaje correspondiente al valor máximo y la salida de voltaje correspondiente al valor mínimo de presión que el transductor puede medir.

<sup>2</sup> Offset (Compensación): Se define como la salida de voltaje correspondiente al mínimo valor de presión medido por el transductor.

<sup>3</sup> Response Time (Tiempo de respuesta): Se define como el tiempo para que el cambio incremental en la salida vaya desde el 10% hasta el 90% de su valor final cuando el transductor es expuesto a una señal de presión paso a paso.

Tabla 3. Índices máximos transductor MPX2053GP.

| Índice                   | Valor      | Unidad |
|--------------------------|------------|--------|
| presión Máxima           | 75         | kPa    |
| Temperatura de operación | -40 a +125 | °C     |

**Amplificador Operacional LF353.** Debido a que el voltaje que entrega el transductor de presión es diferencial, del orden de los milivoltios, la señal que sale de este dispositivo se amplifica haciendo uso de este amplificador operacional en configuración de amplificador diferencial.

Para el circuito de la figura 8 tenemos que el voltaje de salida  $V_{OUT}$  viene dado por:

$$V_{OUT} = V_1 \frac{R_2}{R_1 + R_2} \left( \frac{R_3 + R_4}{R_3} \right) - V_2 \frac{R_4}{R_3} \quad (2)$$



Si  $R_2 = R_4$  y además  $R_1 = R_3$  entonces:

$$V_{OUT} = (V_1 - V_2) \frac{R_4}{R_3} \quad (3)$$

Seguido al amplificador diferencial; se utiliza un amplificador operacional en configuración de sumador de voltajes, para llevar a cero el offset del instrumento.

Figura 8. Amplificador diferencial de voltaje.

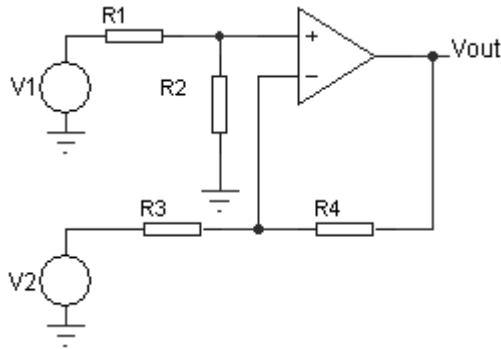
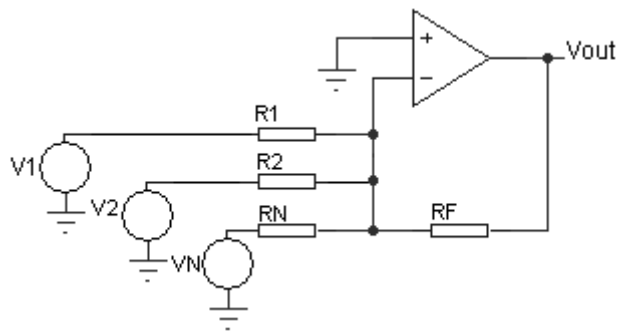


Figura 9. Amplificador sumador de voltajes.



Para el circuito de la figura 9 tenemos que el voltaje de salida  $V_{OUT}$  viene dado por:

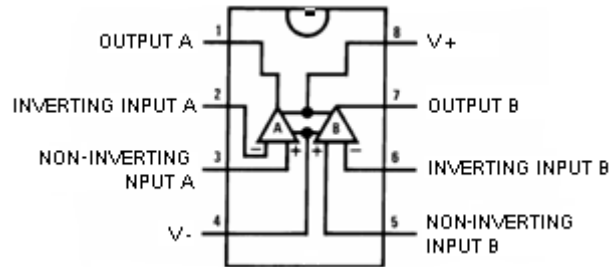
$$V_{OUT} = -\left( \frac{R_F}{R_1} V_1 + \frac{R_F}{R_2} V_2 + \frac{R_F}{R_N} V_N \right) \quad (4)$$

Si  $R_1 = R_2 = R_N = R_F$  entonces:

$$V_{OUT} = -(V_1 + V_2 + V_N) \quad (5)$$

Los amplificadores operacionales que se utilizan se encuentran encapsulados en el circuito integrado (CI) LF353.

Figura 10. Configuración de pines LF353.



**Microcontrolador PIC18F452.** Se utiliza el microcontrolador PIC18F452, este es un circuito integrado que incluye en su interior las tres unidades funcionales de un ordenador: CPU, Memoria y Unidades de E/S. Por medio del módulo conversor análogo digital (ADC) de este microcontrolador, la señal analógica que entrega el amplificador operacional es convertida a un número digital correspondiente de 10 bits. La señal digitalizada es enviada al transmisor MAX485, por medio del puerto serial del módulo USART en configuración de transmisor asíncrono. En la figura 12 se muestra el diagrama de flujo del programa implementado en este microcontrolador.

Figura 11. Configuración de pines del microcontrolador PIC18F452.

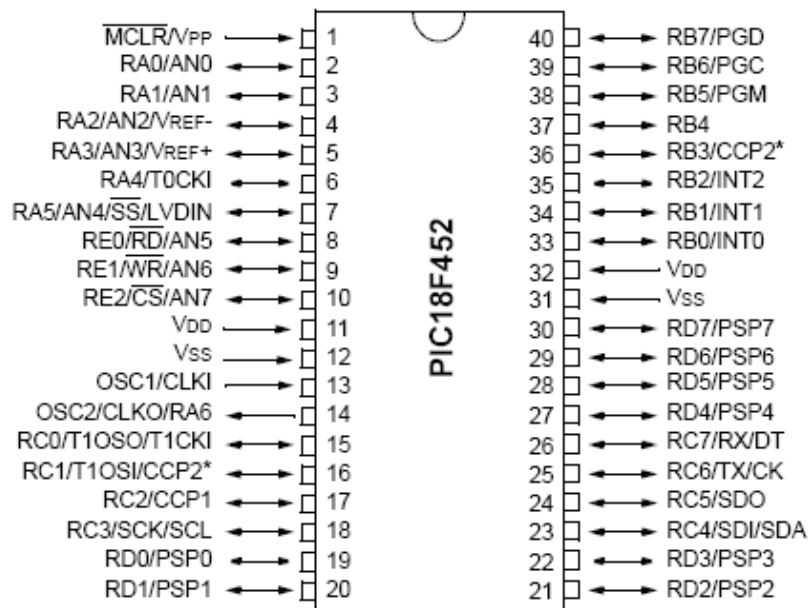
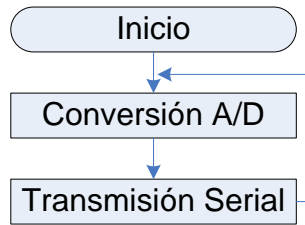
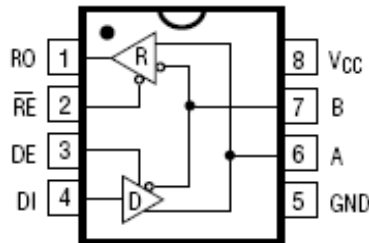


Figura 12. Diagrama de flujo de las instrucciones del microcontrolador.



**Transmisor MAX485.** Se hace uso del transmisor (D) del CI MAX485 (figura 13), que maneja el protocolo RS-485. Se escogió este protocolo para la comunicación entre los circuitos transmisor y receptor, ya que la distancia de separación entre estos es de 100m; distancia que no es permitida por otros protocolos comunes como el RS-232, mientras el protocolo RS-485 al manejar señales diferenciales, permite distancias de separación de hasta 1200 m y además no presenta señales de ruido DC.

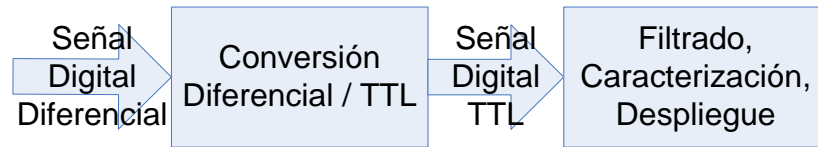
Figura 13. Configuración de pines MAX485.



**2.1.2 Medio físico de comunicación del instrumento.** Se escogió como medio de comunicación entre el circuito transmisor y el circuito receptor cable coaxial debido a que brinda protección contra las interferencias electromagnéticas (EMI) que pueden causar los cableados de señal alterna que se encuentra en el trayecto que recorre la información.

**2.1.3 Circuito receptor.** El circuito receptor es el encargado de recibir la señal diferencial que envía el circuito transmisor para determinar y desplegar la altura de la columna de agua del tanque de almacenamiento. Además activa una alarma cuando el nivel del agua esta fuera del rango ingresado por el usuario a través de un teclado numérico.

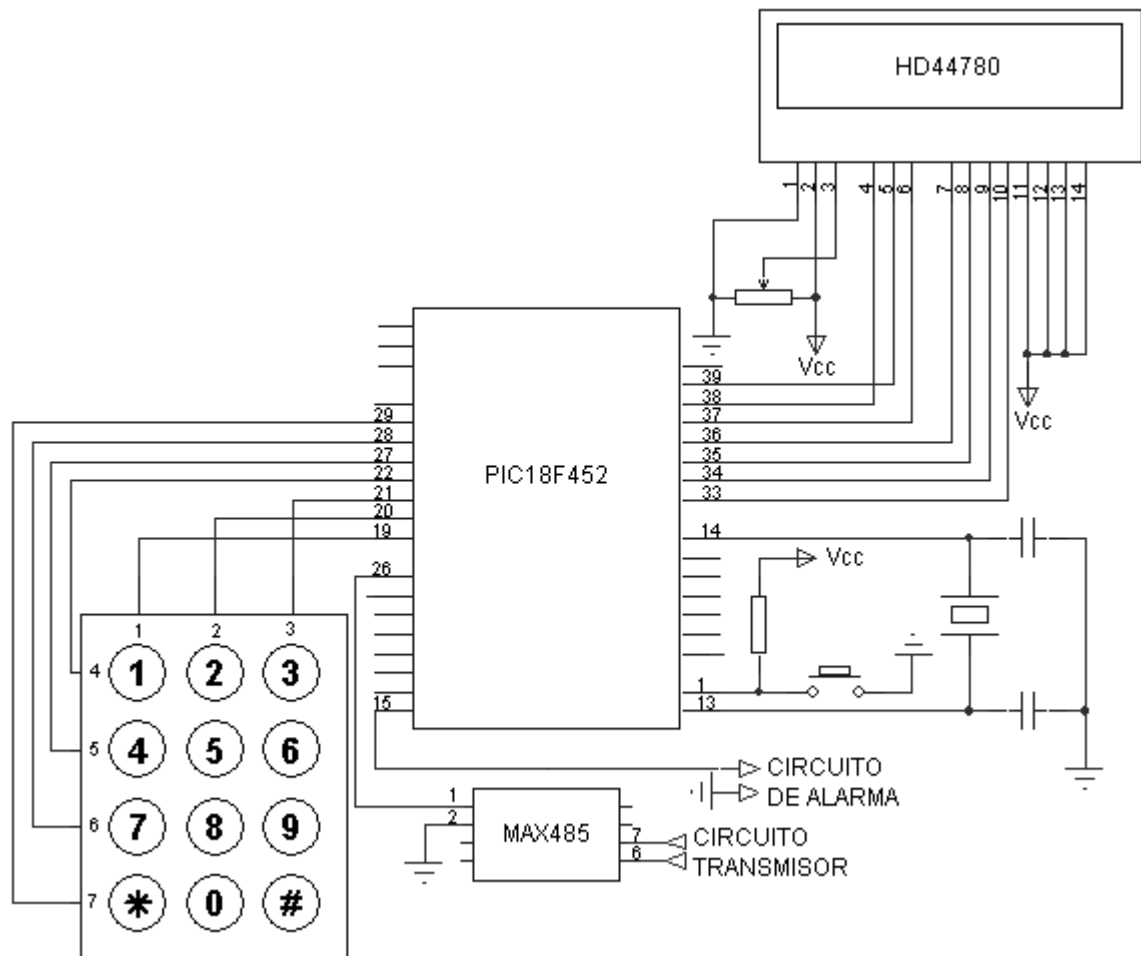
Figura 14. Diagrama en bloques del circuito receptor.



**Componentes.** Los componentes del circuito receptor son los siguientes:

- Receptor MAX485.
- Microcontrolador PIC18F452.
- Teclado numérico.
- Pantalla LCD HD44780.

Figura 15. Diagrama esquemático del circuito receptor.



**Receptor MAX485.** Se hace uso del receptor (R) del CI MAX485 (figura 13) debido a que el circuito transmisor utiliza el protocolo RS-485 para enviar la información.

**Microcontrolador PIC18F452.** En la figura 16 se muestra el diagrama de flujo del programa implementado en el microcontrolador PIC18F452. El microprocesador adquiere los datos por medio del puerto serial receptor del modulo USART, a estos datos se les realiza un filtrado implementando el algoritmo del filtro Moving Average. Este es un filtro digital utilizado para determinar el valor promedio de un arreglo de datos. En la ecuación 6 se expresa la función de transferencia de este filtro.

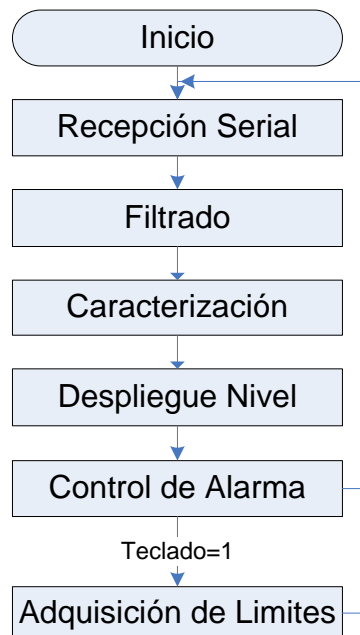
$$y[i] = \frac{1}{M} \sum_{j=0}^{M-1} x[i + j] \quad (6)$$

$y[ ]$  = Señal de salida del filtro.

$x[ ]$  = Señal de entrada al filtro.

$M$  = Numero de puntos a promediar.

Figura 16. Diagrama de flujo de las instrucciones del microcontrolador.

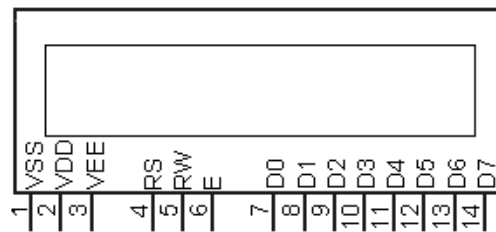


A cada dato después de ser filtrado, se le asigna su correspondiente valor de nivel de agua por medio de una función de caracterización. El microcontrolador

adquiere el valor de los niveles de agua máximo y mínimo por medio del teclado numérico y los almacena en la memoria EEPROM que posee. Esta memoria tiene una capacidad de 256 Bytes; permite la lectura y escritura de un byte a la vez y tiene un rango de direccionamiento de 0h a FFh. Si el nivel del agua esta por fuera del rango establecido por el usuario; el microcontrolador realiza la activación de la alarma.

**Pantalla LCD HD44780.** Esta pantalla de 2 filas y 16 caracteres por fila, se encarga de desplegar el nivel del agua del tanque de manera constante en unidades de cm.

Figura 17. Pantalla LCD HD44780.



**Teclado numérico.** El circuito receptor tiene un teclado numérico como interfaz de entrada por medio del cual los operadores de la planta ingresan los valores máximo y mínimo del nivel de agua del tanque de almacenamiento.

Figura 18. Teclado numérico.

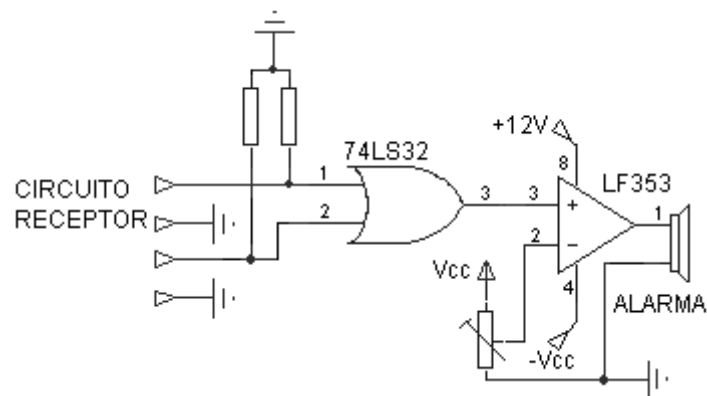


### 2.1.4 Circuito de alarma.

**Componentes.** Los componentes del circuito de alarma son los siguientes:

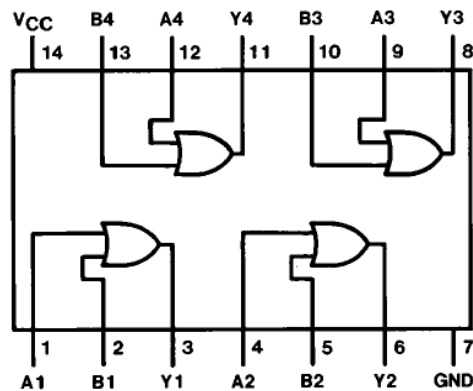
- Compuerta OR 74LS32.
- Amplificador operacional LF353.
- Alarma.

Figura 19. Diseño esquemático del circuito de alarma.



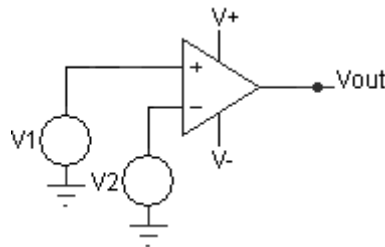
**Compuerta OR 74LS32.** Este dispositivo contiene cuatro compuertas independientes cada una de las cuales lleva a cabo la función lógica OR. Se utiliza este circuito integrado con el fin de que el circuito posea dos entradas diferentes que puedan activar la alarma.

Figura 20. Circuito integrado 74LS32.



**Amplificador operacional LF353.** Se utiliza el amplificado operacional en configuración de comparador, debido a que en esta configuración la ganancia de voltaje del amplificador es muy grande. Esto hace que dependiendo de los voltajes de entrada, la salida siempre esté en cualquiera de los dos voltajes de polarización del amplificador. Para el circuito de la figura 21, si  $V1 > V2$   $V_{out} = V_-$ , si  $V1 < V2$   $V_{out} = V_+$ . La salida del amplificador se conecta a la alarma, al tener únicamente dos estados para el voltaje de polarización de la alarma, se asegura que no se presenten fugas de pequeñas corrientes que activen la alarma cuando no sea necesario.

Figura 21. Amplificador operacional comparador.



**Alarma.** Se utiliza una alarma de 12VDC, de un solo tono.

Figura 22. Alarma.

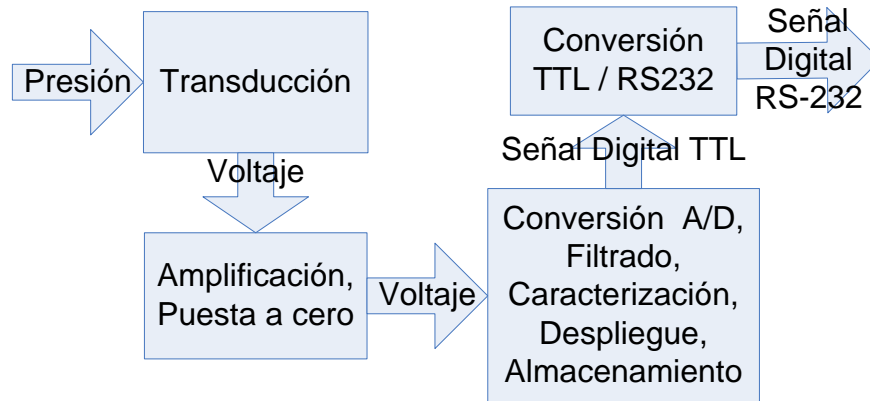


## 2.2 INSTRUMENTO DIGITAL DE MEDIDA DE PRESIÓN

Este instrumento se encarga de medir la presión en la tubería del acueducto y periódicamente almacenar estos valores en una memoria para su posterior envío a un computador. Además posee un puerto para conectarse a una alarma externa. Este puerto se activa cuando la presión esta fuera del rango establecido por el usuario a través de un teclado numérico.



Figura 23. Diagrama en bloques del instrumento de medida de presión.



**2.2.1 Componentes.** Los componentes del instrumento son los siguientes:

- Transductor de presión MSP300.
- Amplificador operacional LF353.
- Microcontrolador PIC18F452.
- Teclado Numérico.
- Transmisor MAX232.
- Pantalla LCD HD44780.
- Transistor 2222A.
- Relé

**Transductor de Presión MSP300.** Este transductor posee una cavidad fabricada a partir de una pieza sólida de acero inoxidable 17-4 PH que incluye una rosca de tubo ¼" NPT para impedir fugas. Este transductor esta compuesto de materiales piezoresistivos de silicio fundidos con vidrios de alta temperatura en un diafragma de acero inoxidable y entrega un señal del orden de los milivoltios.

Tabla 4. Índices máximos transductor MSP300.

| Índice                   | Valor     | Unidad |
|--------------------------|-----------|--------|
| presión Máxima           | 250       | PSI    |
| Temperatura de operación | -20 a +85 | °C     |

Figura 24. Diagrama esquemático del instrumento digital de medida de presión.

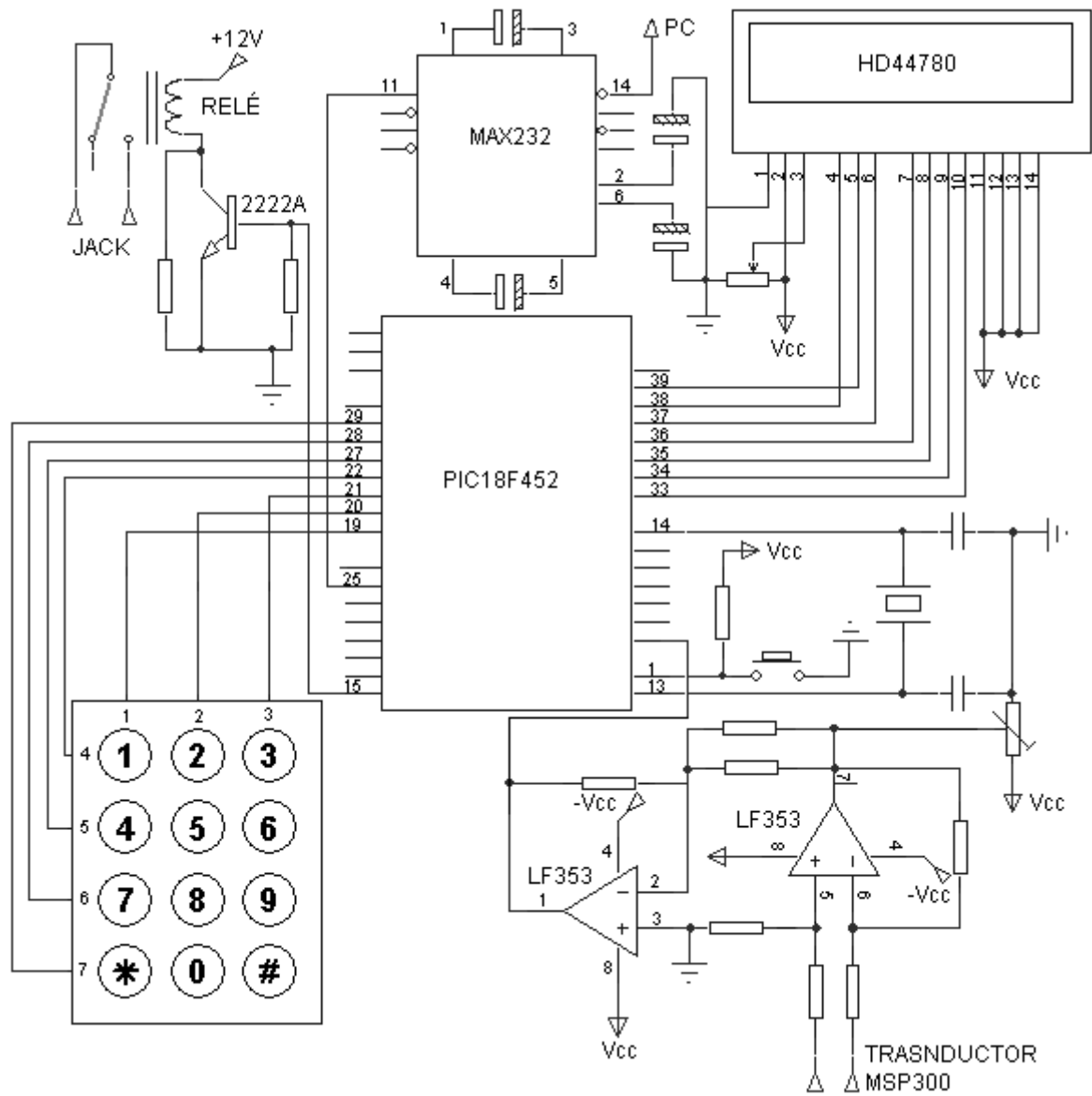


Figura 25. Transductor MSP300.



Tabla 5. Características de operación transductor MSP300.

| <b>Características</b>     | <b>Min.</b> | <b>Tip.</b> | <b>Máx.</b> | <b>Unidad</b> |
|----------------------------|-------------|-------------|-------------|---------------|
| Rango de presión.          | 0           | -           | 250         | PSI           |
| Voltaje de alimentación.   | -           | 5           | -           | Vdc           |
| Corriente de alimentación. | -           | -           | 10          | mA            |
| Full Scale Span.           | -           | 100         | -           | mVdc          |
| Offset.                    | -3          | -           | 3           | mVdc          |
| Sensibilidad.              | -           | 0.4         | -           | mV/PSI        |
| Impedancia de entrada.     | -           | 1           | -           | MΩ            |

**Amplificador Operacional LF353.** La señal que entrega el sensor de presión MSP300 se amplifica haciendo uso de un amplificador operacional en configuración de amplificador diferencial, seguidamente se utiliza otro amplificador operacional en configuración de sumador de voltajes para ajustar el offset del instrumento, estos amplificadores operacionales se encuentran encapsulados en el CI LF353.

**Microcontrolador PIC18F452.** Mediante este microcontrolador se implementa el código correspondiente al diagrama de flujo que se muestra en la figura 26. Este CI es el encargado de convertir la señal análoga de voltaje amplificado en una señal digital, por medio del modulo ADC que posee. A la señal digital se le realiza un filtrado implementando el algoritmo del filtro Moving Average. A cada dato después de ser filtrado se le asigna un valor de presión por medio de una función de caracterización. El microcontrolador despliega el valor de la presión en una pantalla LCD en unidades de PSI. En la memoria EEPROM cada seis minutos se almacena el valor de la presión medida. El intervalo entre las grabaciones de los valores de presión se define por medio del modulo Timer0 del microcontrolador. En el microcontrolador están implementadas las funciones de mostrar el número de datos almacenados en la memoria, la función de enviar estos datos por el puerto serial transmisor del modulo USART, la función de borrar estos datos, y la función de activar un puerto, cuando el valor de presión esta por fuera del rango establecido por el usuario por medio del teclado numérico.

**Transmisor MAX232.** Este transmisor es el encargado de recibir la información serial que envía el PIC18F452 y convertirla al estándar RS-232. Se utiliza este estándar para poder enviar la información almacenada en el microprocesador a un computador.

Figura 26. Diagrama de flujo de las instrucciones del microcontrolador.

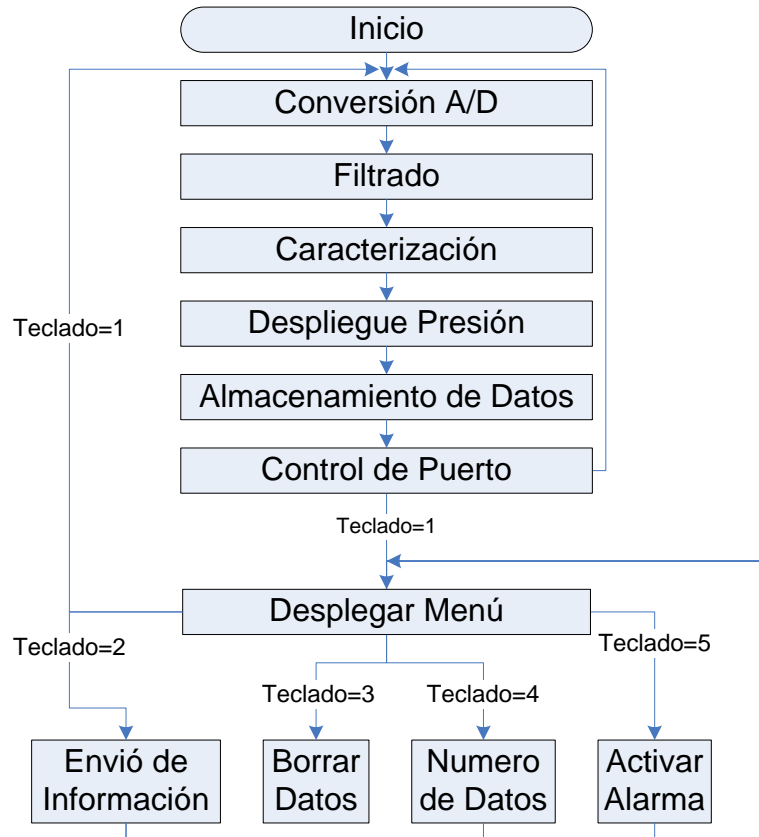
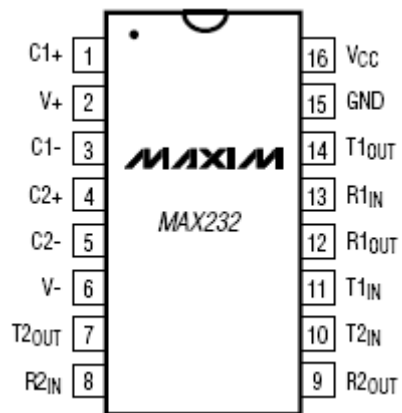


Figura 27. Configuración de pines MAX232.



**Pantalla LCD HD44780.** En esta pantalla se despliega de manera constante la presión medida en unidades de PSI.

**Teclado numérico.** El instrumento de medida de presión utiliza un teclado numérico como interfaz de entrada. Por medio de este teclado el usuario accede al menú principal de funciones e ingresa los valores el valor máximo y mínimo de presión.

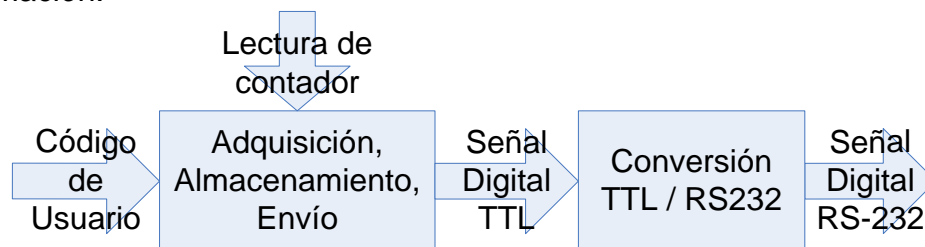
**Transistor 2222A.** Debido a que los voltajes de los puertos de salida del PIC18F452 no son lo suficientemente altos para manipular directamente el relé, se utiliza éste transistor NPN en configuración de conmutador, para que el microcontrolador maniobre los contactos del relé por medio de éste.

**Relé.** A este relé se conecta un terminal jack el cual se cortocircuita cuando el valor de presión medido se encuentra fuera del rango establecido por el usuario. Lo anterior le brinda a este instrumento la posibilidad de conexión con un sistema externo de alarma.

## 2.3 INSTRUMENTO PORTÁTIL PARA ALMACENAMIENTO DE INFORMACIÓN

Este instrumento portátil almacena en una memoria el código de los contadores de gasto de agua con su respectivo consumo. Esta información es ingresada manualmente por el usuario y puede ser enviada a un computador.

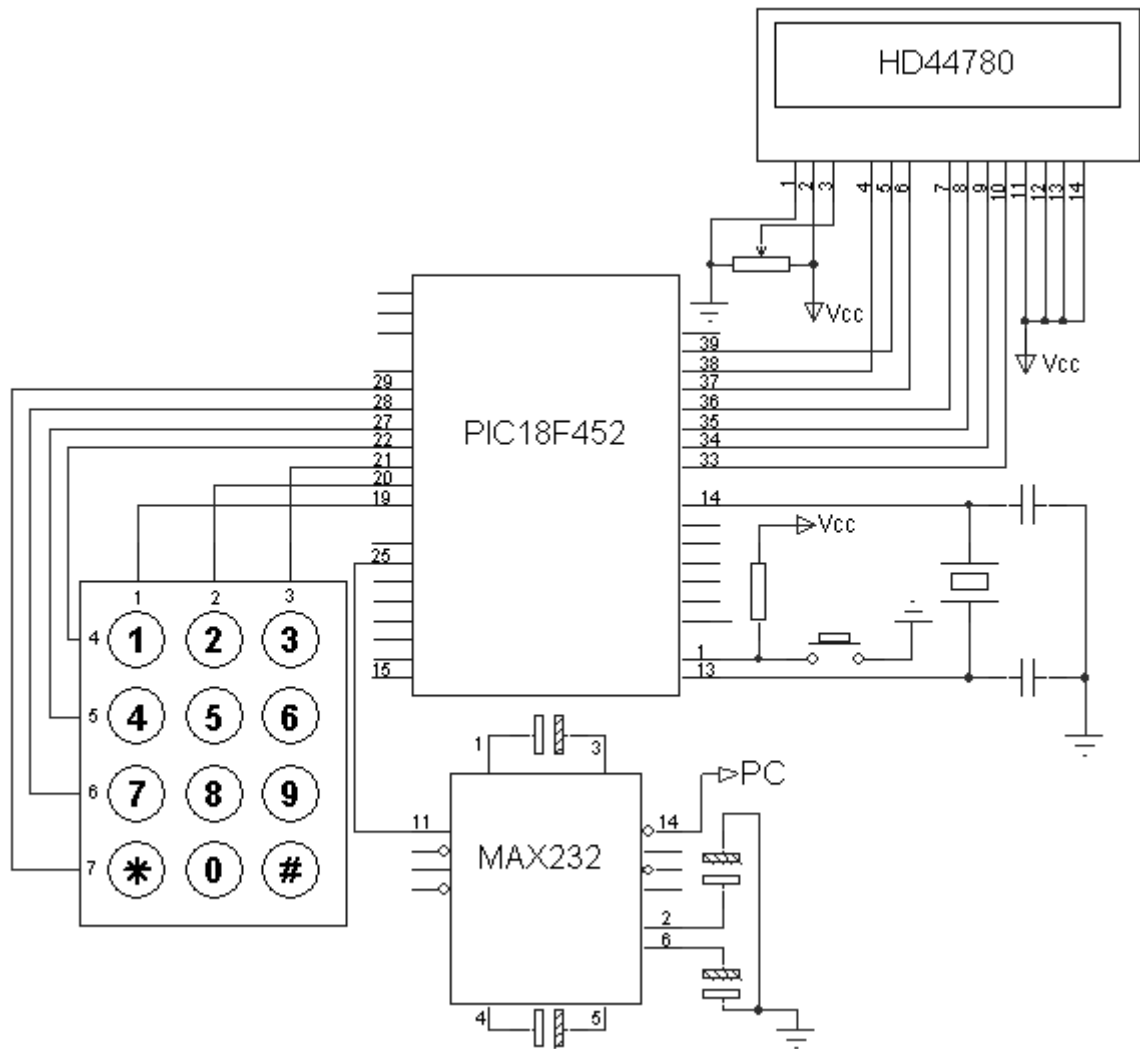
Figura 28. Diagrama en bloques del instrumento portátil para el almacenamiento de información.



**2.3.1 Componentes.** Este instrumento consta de los siguientes componentes:

- Teclado numérico.
- Microcontrolador PIC18F452.
- Transmisor MAX232.
- Pantalla LCD HD44780.

Figura 29. Diagrama esquemático del instrumento portátil para almacenamiento de información.

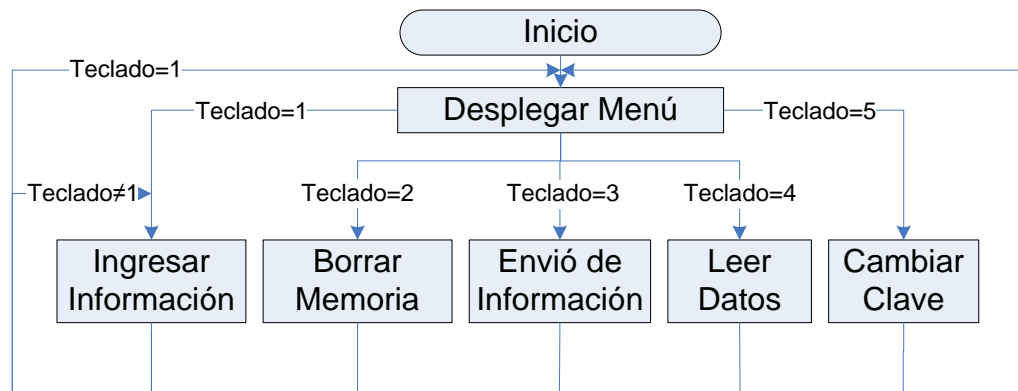


**Teclado numérico.** Se utiliza un teclado numérico como interfaz de entrada, por medio del cual el usuario accede a menú de funciones del instrumento e ingresa la información que este le solicita.

**Microcontrolador PIC18F452.** Este CI es el encargado de adquirir información por medio de un teclado numérico. Esta información se almacena en su memoria EEPROM, cuando esta memoria se llena, estos datos se pasan a su memoria FLASH de programa, este CI tiene 32 Kbytes de memoria FLASH.

Este integrado tiene implementadas las funciones para enviar la información almacenada en las memorias por medio del puerto serial transmisor de modulo USART. También posee la función para eliminar esta información de la memoria y permite del mismo modo leer los últimos datos almacenados por el usuario, para saber a partir de que contador de gasto de agua se debe continuar con la toma de lecturas. Posee a su vez una función para cambiar la clave de protección de los datos almacenados en la memoria, clave requerida para el ingreso de información y para borrar toda la información guardada. En la figura 30 se muestra el diagrama de flujo de las instrucciones desarrolladas en este microcontrolador.

Figura 30. Diagrama de flujo de las instrucciones del microcontrolador.



**Transmisor MAX232.** Este transmisor es usado, para que el microcontrolador establezca comunicación con el computador encargado de elaborar las facturas de cobro del servicio de agua potable, mediante el protocolo RS-232.

**Pantalla LCD HD44780.** Esta pantalla se utiliza como periférico de salida de información, para la comunicación del usuario con el instrumento.

### 3. RESULTADOS Y ANÁLISIS

Como se mencionó en el capítulo anterior, el sistema electrónico que se implementó para el APM consta de diferentes instrumentos. A continuación se muestran los resultados obtenidos con el diseño y la implementación de estos circuitos.

#### 3.1 INSTRUMENTO DE MONITOREO DEL NIVEL DE AGUA DEL TANQUE DE ALMACENAMIENTO

**3.1.1 Resolución teórica del instrumento.** El transductor de presión manométrica MPXM2053GS mide entre 0 y 50 KPa, (0-510 cmH<sub>2</sub>O). El amplificador al que está conectado este transductor entrega un voltaje entre 0 y 5 voltios, por lo tanto la relación ( $S$ ) entre el voltaje de salida del amplificador operacional y la presión que mide el transductor viene dada por:

$$S = \frac{5V}{510\text{cmH}_2\text{O}} \quad (7)$$

$$S = 9.8 \frac{mV}{\text{cmH}_2\text{O}}$$

El ADC del microprocesador PIC18F452, que muestrea la señal que proviene del amplificador operacional entrega un número digital de 10 bits. En la práctica se observa que el bit menos significativo oscila demasiado y le añade error a la señal, por esta razón solo se usan los 9 bits más significativos, debido a esto el ADC tiene una resolución ( $R$ ) dada por:

$$R = \frac{5V}{(2^9 - 1)\text{bits}} \quad (8)$$

$$R = 9.78 \frac{mV}{\text{bit}}$$

La resolución teórica ( $R_T$ ) del instrumento se determina así.



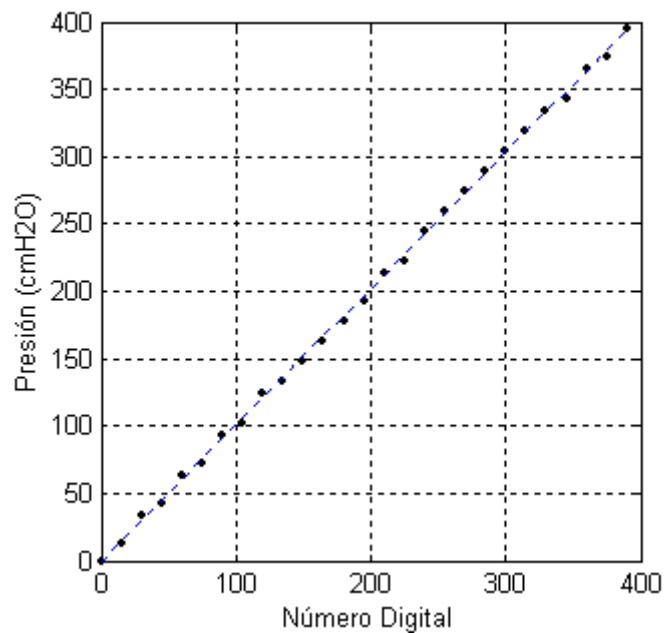
$$R_T = \frac{9.78 \frac{mV}{bit}}{9.8 \frac{mV}{cmH_2O}} \quad (9)$$

$$R_T \cong 1 \frac{cmH_2O}{bit}$$

El valor de  $R_T$  indica que la menor medida de altura de columna de agua que se puede llegar a medir con este instrumento es de 1 cm.

**3.1.2 Caracterización.** Para la caracterización de este instrumento, se simuló el efecto del agua en la profundidad del tanque utilizando un tubo de PVC de  $\frac{1}{2}$ " en posición vertical, en cuyo extremo inferior conectó el transductor de presión. Se realizó este procedimiento debido a que según la ecuación 1, la presión producida por un líquido en el fondo de un contenedor solo depende la altura de la columna del líquido y no de la forma del contenedor. Al agregarse el agua en el tubo se registró el valor digital que entregaba el ADC con la correspondiente presión que generaba este valor. La grafica de los datos obtenidos se muestran en la figura 31.

Figura 31. Presión en el fondo del contenedor en función del número digital correspondiente.



Teniendo en cuenta que de los valores de presión se extrae directamente la altura de la columna de agua que produce estas presiones, de la linealización de los datos obtenidos se obtiene que la resolución experimental del instrumento es de 1.03867 cm y su offset es de 0.35413 cm. Por lo tanto la función de caracterización que se implementa en el microcontrolador es la siguiente:

$$H = 1.03867N + 0.35413 \quad (10)$$

Donde:

$H$  es el nivel de agua en el tanque de almacenamiento, en unidades de cm.  
 $N$  es el número digital que se toma del ADC.

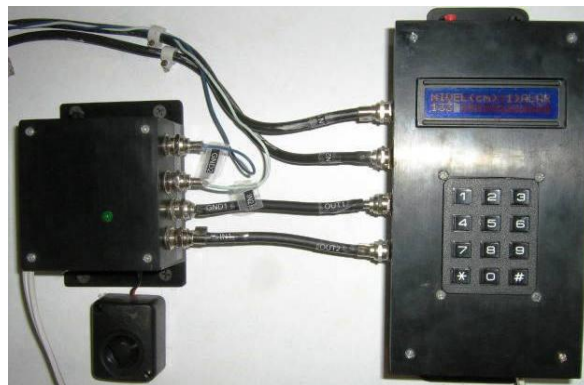
Se observa que la resolución experimental del instrumento (1.03867 cm), es bastante aproximada con la resolución teórica obtenida en un principio (1 cm).

### 3.1.3 Implementación.

Figura 32. Circuito transmisor.



Figura 33. Circuito receptor y circuito de alarma.



En el anexo A.1 se describen las características y el funcionamiento de este instrumento.

## 3.2 INSTRUMENTO DIGITAL DE MEDIDA DE PRESIÓN

**3.2.1 Resolución teórica del instrumento.** El transductor de presión absoluta MSP300 mide entre 0 y 250 PSI. El amplificador al que está conectado este transductor entrega un voltaje entre 0 y 5 voltios, por lo tanto la relación (S) entre el voltaje de salida del amplificador operacional y la presión que mide el transductor viene dada por:

$$S = \frac{5V}{250PSI} \quad (11)$$

$$S = 20 \frac{mV}{PSI}$$

Se utilizaron los 8 bits más significativos del dato que entrega el ADC que muestrea la señal que proviene del amplificador operacional. Solo se tomaron 8 bits con el fin de poder almacenar una mayor cantidad de datos en la memoria EEPROM del microcontrolador, debido a la implementación adicional de una función de registro. Por lo anterior el ADC tiene una resolución (R) dada por:

$$R = \frac{5V}{(2^8 - 1)bits} \quad (12)$$

$$R = 19.6 \frac{mV}{bit}$$

La resolución teórica  $R_T$  del instrumento se determina así.

$$R_T = \frac{19.6 \frac{mV}{bit}}{20 \frac{mV}{PSI}} \quad (13)$$

$$R_T \approx 1 \frac{PSI}{bit}$$

El valor de  $R_T$  indica que la menor medida de presión se puede medir con este instrumento es de aproximadamente 1 PSI. La presión en la tubería regularmente

varía con esta proporción y al manejar una mayor resolución se obtendría una medida más inestable.

**3.2.2 Caracterización.** Para la caracterización de este instrumento se hizo uso del sensor de presión DP, que es un instrumento digital de medida de presión, con un rango de medición de 0-160 PSI y una resolución de 1PSI. Este instrumento fue adquirido por el APM como préstamo por parte de la Gobernación Departamental del Cauca.

Figura 34. Sensor de presión DP.



El transductor de presión MSP300, al igual que el sensor DP se conectaron a la tubería principal. El valor de presión en la tubería se varió por medio de una válvula, finalmente se registró el valor digital suministrado por el ADC y el valor de presión que entregaba el sensor de presión DP. Los datos obtenidos se encuentran graficados en la figura 35.

En la grafica de la figura 35 se observa que este instrumento presenta un comportamiento lineal, al realizar la linealización de los datos obtenidos se determina que la resolución experimental del instrumento es de 1.04546 PSI y su offset es de 0.35413 PSI. Por lo tanto la función de caracterización que se implementa en el microcontrolador es la siguiente:

$$P = 1.04546N + 0.94852 \quad (14)$$

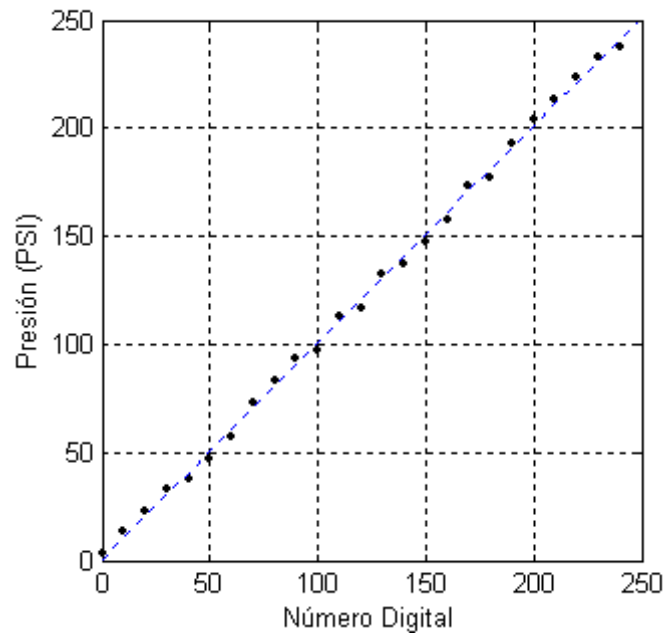
Donde:

$P$  es la presión en la tubería en PSI.

$N$  es el numero digital que toma del ADC.

La resolución experimental del instrumento (1.04546 PSI), es bastante aproximada a la resolución teórica (1 PSI), establecida inicialmente.

Figura 35. Presión en la tubería en función del número digital correspondiente.



### 3.2.3 Implementación.

Figura 36. Instrumento digital de medida de presión.



En el anexo A.2 se describen las características y el funcionamiento de este instrumento.

### **3.3 INSTRUMENTO PORTÁTIL PARA ALMACENAMIENTO DE INFORMACIÓN**

Este instrumento tiene la capacidad de almacenar más de 5000 lecturas de contadores de gasto de agua con su respectivo consumo en metros cúbicos. Esta información se almacena en una memoria no volátil y se envía a un computador por medio del protocolo RS-232. El computador adquiere la información por medio de la aplicación Hyper Terminal y la almacena en un archivo de Microsoft Excel.

#### **3.3.1 Implementación**

Figura 37. Instrumento portátil para almacenamiento de información.



En el anexo A.3 se describen las características y el funcionamiento de este instrumento.

## 4. CONCLUSIONES

El objetivo general del proyecto se cumplió completamente con el diseño e implementación de un sistema electrónico compuesto por un instrumento de monitoreo de nivel de agua del tanque de almacenamiento, un instrumento digital de medida de presión y un instrumento portátil de almacenamiento de información.

Al dispositivo de monitoreo de nivel de agua del tanque de almacenamiento se le adiciono la función de alarma. Función que no estaba planteada en los objetivos específicos del anteproyecto, pero que con su implementación facilito la labor de los trabajadores del APM y les permito desarrollar un mejor monitoreo sobre el nivel del agua del tanque de almacenamiento.

Al instrumento digital de medida de presión se le adiciono la función de registro de valores de presión, función que no se había propuesto, y que se implemento debido a la necesidad del acueducto de llevar el registro de la presión de la tubería, estos datos históricos los procesa el software EPANET, que ofrece resultados de como optimizar el abastecimiento de agua.

La implementación de este sistema electrónico hace que el APM sea en el departamento del cauca, el único acueducto que utilice instrumentos electrónicos para el monitoreo del nivel de agua en tanques, para la medida y registro de la presión en las tuberías y para registrar las lecturas de los contadores de gasto de agua.

El sistema electrónico implementado para el APM es más favorable que los sistemas multifuncionales existentes en el mercado en factores de costo y mantenimiento, debido a su simplicidad y a la cercanía del personal encargado del mantenimiento.

La implementación de este sistema electrónico ubica al APM, como uno de los acueductos pioneros en el departamento del Cauca, en el desarrollo de técnicas de instrumentación electrónica para el desarrollo de sus procesos.

## BIBLIOGRAFÍA

ACUEDUCTO PIENDAMÓ MORALES. Cobertura y Número de Usuarios. 6 ed. Piendamó, 2007.

ANGULO, José. Microcontroladores avanzados. 1 ed. Madrid. Thomson, 2006.

BISTNER, Gregory. Instrumentación electrónica y sistemas de medida. España. Gustavo Gili S.A, 2002.

CREUS, Antonio. Instrumentación Industrial. 6 ed. México. Alfa y Omega, 2000.

HEELEY, David. Understanding pressure and pressure measurement, Freescale Semiconductor Application Note, 2005.

IRWIN, David. Análisis básico de circuitos en ingeniería. 5 ed. México. Pearson Education, 1997.

MACHADO, Efraín. Dispositivos Electrónicos. Revista de Electrónica. 35 ed. México. Duson, 2003.

MAXIM MAX232, Data Sheet, Maxim integrated Products, 2007.

MAXIM MAX485, Data Sheet, Maxim integrated Products, 2007.

MICROCHIP PIC18f452, Data Sheet, Microchip Technology Inc, 2007.

MOMPIN, José. Electrónica y Automática Industrial. España. Marcombo, 2003.



MPX2053, MPXV2053G SERIES, Technical Data, Freescale Semiconductor Inc, 2007.

MSP300, Technical Data, Measurement Specialties, Inc, 2007.

PALLÁS, Ramón. Transductores de Nivel. Revista Transductores y Acondicionadores de señal. 31 ed. España. Sesgar, 2000.

RASHID, Muhammad. Electrónica de potencia. 2 ed. México. Prentice Hall Hispanoamericana S.A, 1995.

SHAMES, Irving. Mecánica de fluidos. 2 ed. Bogotá. McGraw-Hill, 1995.

## ANEXO A MANUAL DE USUARIO

### A.1. INSTRUMENTO DE MONITOREO DE NIVEL DE AGUA DEL TANQUE DE ALMACENAMIENTO

#### A.1.1. Características.

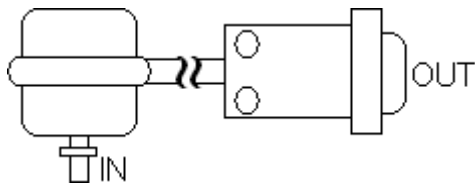
- Rango de medición de nivel de agua es de 0 a 5m.
- Rango de temperatura de medición -40 a +125 °C.
- Despliegue de información hasta 1200m de distancia del punto de medición.
- Alarma sonora.
- Almacenamiento en memoria no volátil de los límites de nivel.

Este instrumento consta de 4 elementos:

- Transductor de presión MPX2053GP.
- Circuito transmisor.
- Circuito receptor.
- Circuito de Alarma.

**A.1.2. Transductor de Presión MPX2053GP.** El puerto de medición de presión del transductor IN, debe conectarse al tubo de desagüe del tanque de almacenamiento, mientras el conector OUT (DB9 hembra), se conecta al circuito transmisor.

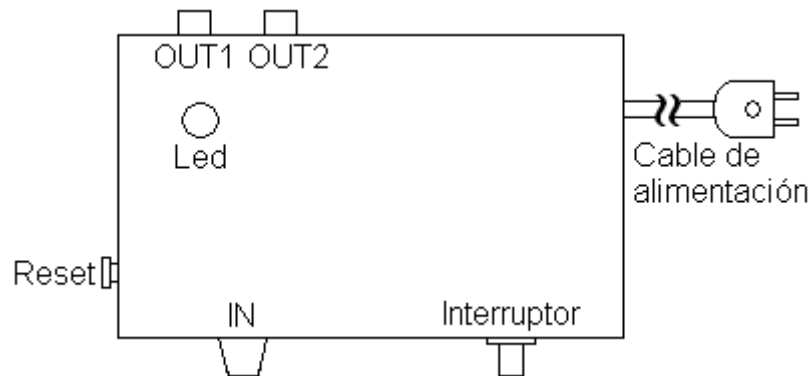
Figura 38. Esquema transductor de presión MPX2053GP.



**A.1.3. Circuito Transmisor.** El circuito transmisor opera con 120V AC a 60 Hz, se enciende y apaga mediante el interruptor, cuando el circuito está encendido se prende el led. En el puerto IN (DB9 macho) se debe conectar el transductor de

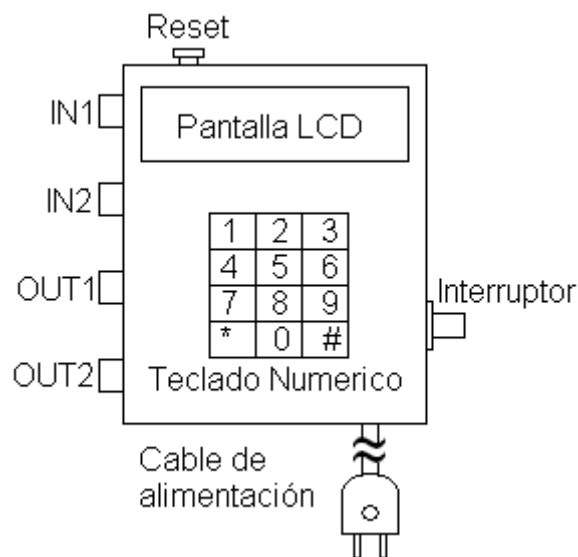
presión. El botón “reset” se presiona cuando este circuito no funciona de manera normal con el fin de que ejecute correctamente los diferentes procesos que debe realizar.

Figura 39. Esquema del circuito trasmisor.



**A.1.4. Circuito Receptor.** Este circuito opera con 120V AC a 60 Hz, se enciende y apaga por medio del interruptor, cuando el circuito esta encendido, la pantalla LCD permanece encendida y despliega el nivel de agua del tanque de almacenamiento en unidades de cm.

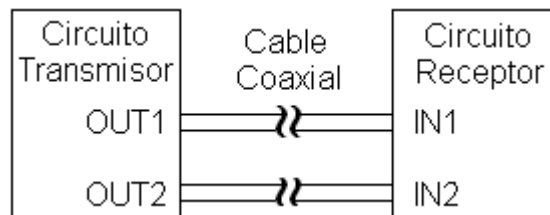
Figura 40. Esquema circuito receptor.



El botón “reset” se presiona cuando este circuito no funciona de manera normal con el fin de que ejecute correctamente los diferentes procesos que debe realizar.

**Conexión al circuito Transmisor.** Los puertos IN1 e IN2 del circuito receptor deben conectarse a los puertos OUT1 y OUT2 del circuito transmisor respectivamente, por medio de dos líneas de cable coaxial.

Figura 41. Conexión entre el circuito transmisor y el circuito receptor.



Cuando el circuito receptor se enciende y no se encuentra conectado al circuito transmisor, o este último está apagado, el circuito receptor despliega el mensaje “ESPERE POR FAVOR” y queda a la espera de que se realice el intercambio de información para desplegar el nivel de agua del tanque de almacenamiento.

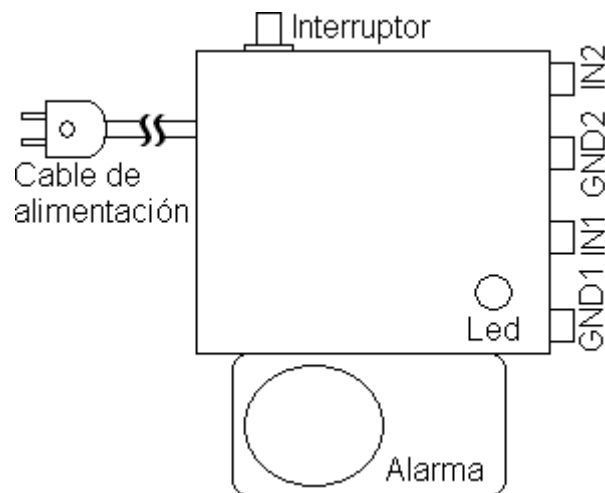
**Establecer Valores Máximo y Mínimo de Nivel.** Al presionar la tecla “1” por unos segundos mientras el circuito despliega el valor del nivel del agua, el instrumento despliega el mensaje "NIVEL MAX. (cm)". El usuario debe ingresar el nivel de agua máximo en unidades de cm y posteriormente el instrumento despliega el mensaje "NIVEL MIN. (cm)". El usuario debe ingresar el valor del nivel de agua mínimo en unidades de cm y finalizado este procedimiento se despliega nuevamente el nivel del tanque de almacenamiento. Los valores de nivel de agua ingresados deben estar entre 0 y 400 cm, valores fuera de este rango no serán aceptados, y el usuario nuevamente deberá volver a digitar el número, el valor mínimo que se ingrese debe ser menor al valor máximo ingresado, de lo contrario el valor no se acepta y el usuario debe volver a ingresar otro valor de nivel mínimo.

**Activación de circuito de Alarma.** Un nivel de agua fuera del rango establecido por los valores máximo y mínimo activa el circuito de alarma y el circuito receptor desplegará el mensaje “NIVEL MAXIMO SUPERADO” o “NIVEL MINIMO SUPERADO” dependiendo del caso.

**Ingresar Datos.** Para ingresar un número, este se debe escribir por medio del teclado numérico, seguido de la tecla “#”, si se comete un error al ingresar un número se presiona la tecla “\*” para borrar el número ingresado. Al digitar un número superior a 9999 en circuito receptor despliega el mensaje “NUM. INVALIDO”.

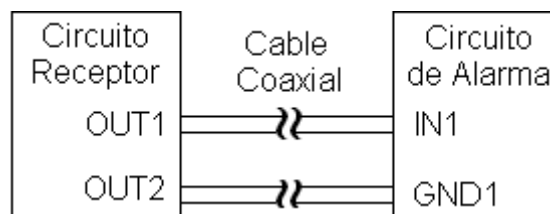
**A.1.5. Circuito de Alarma.** Este circuito se enciende y apaga por medio del interruptor, opera con 120V AC a 60 Hz, cuando el circuito está siendo alimentado se enciende el led.

Figura 42. Esquema circuito de alarma.



**Conexión al Circuito Receptor.** Los terminales OUT1 y OUT2, del circuito receptor deben conectarse con los terminales IN1 y GND1 del circuito de alarma respectivamente, por medio de dos líneas de cable coaxial.

Figura 43. Conexión entre el circuito de alarma y el circuito receptor.



## A.2. INSTRUMENTO DIGITAL DE MEDIDA DE PRESIÓN

### A.2.1. Características.

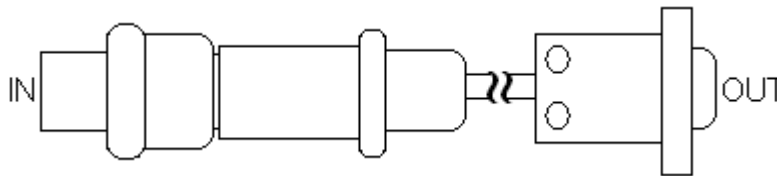
- Rango de medición de 0 a 250 PSI.
- Rango de temperatura de medición -20 a +80 °C.
- Funcionamiento con voltaje AC y DC.
- Registro de presión en memoria EEPROM.
- Comunicación vía RS-232 con un computador.
- Puerto para alarma exterior.

Este instrumento consta de dos elementos:

- Transductor de presión MSP300.
- Circuito de medición.

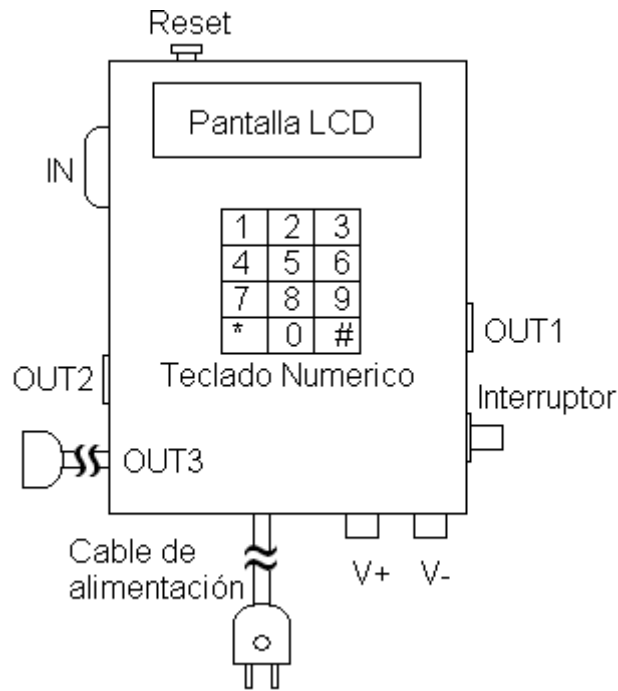
**A.2.2. Transductor de Presión MSP300.** El puerto de medición del transductor IN (adaptador macho de ½”), se debe conectar a un adaptador hembra de ½” conectado a la tubería del acueducto. El conector OUT (DB9 macho) se debe conectar al circuito de medición.

Figura 44. Esquema transductor de presión MSP300.



**A.2.3. Circuito de Medición.** Mediante el interruptor se alterna el funcionamiento de este instrumento entre 120V AC a 60 Hz y una batería de 12 voltios DC. Los terminales V+ y V- deben enchufarse a los conectores 12V y tierra de la batería respectivamente. Cuando el circuito se enciende se despliega la presión de la tubería en unidades de PSI. En el puerto IN (DB9 hembra) se debe conectar el transductor de presión. El botón “reset” se presiona cuando este circuito no funciona de manera normal con el fin de que ejecute correctamente los diferentes procesos que debe realizar.

Figura 45. Esquema circuito de medición.



**Menú de funciones.** El instrumento de medición de presión después de encendido despliega el valor de la presión en la tubería en unidades de PSI. Para acceder al menú de funciones se debe presionar la tecla “1”. El menú que se despliega es el siguiente:

” 1)MEDIR 2)ENVIAR 3)BORRAR 4)DATOS 5)ALARMA”

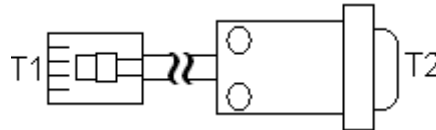
**Función Medir.** Al desplegarse el menú de funciones y mantener presionada la tecla “1”, el instrumento continúa realizando la media de la presión en la tubería y el registro de los datos en la memoria como se mencionó anteriormente.

**Función Enviar.** Al mantener presionada la tecla “2” cuando se muestra el menú principal, la información almacenada en el instrumento es enviada por el terminal OUT1 (jack modular). Para el almacenamiento de esta información en una computadora deben realizarse los siguientes pasos:

- Encender el instrumento de medición de presión y el computador.
- Conectar el instrumento con el computador por medio del cable de conexión, el terminal T1 (RJ11) se conecta al puerto OUT1 (jack modular) del circuito de

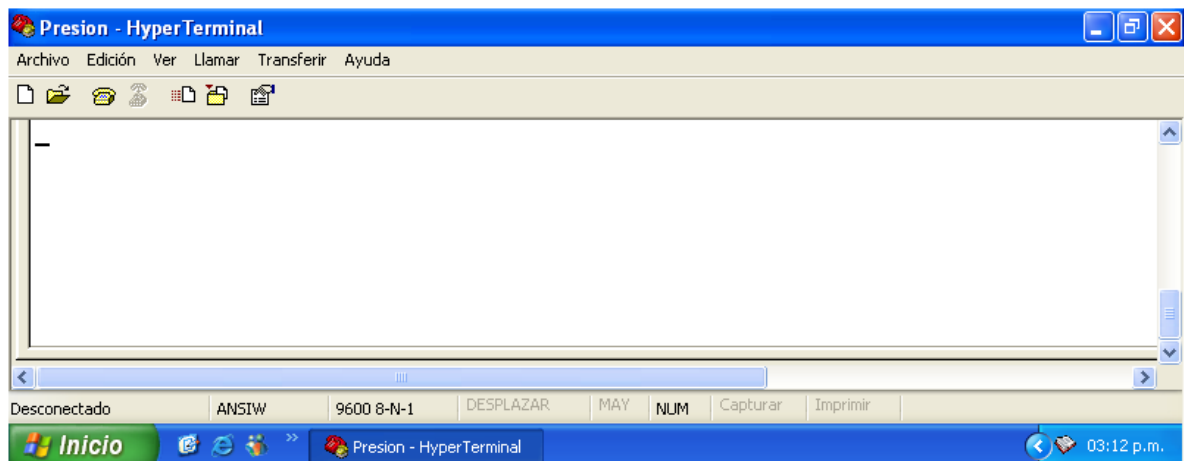
medición y el terminal T2 (DB9 hembra) se conecta al puerto serial del computador.

Figura 46. Cable de conexión al computador.



- Ejecutar en el computador el programa Presion.ht, una aplicación del programa Hiperterminal de Windows. Al hacer esto aparece la siguiente ventana.

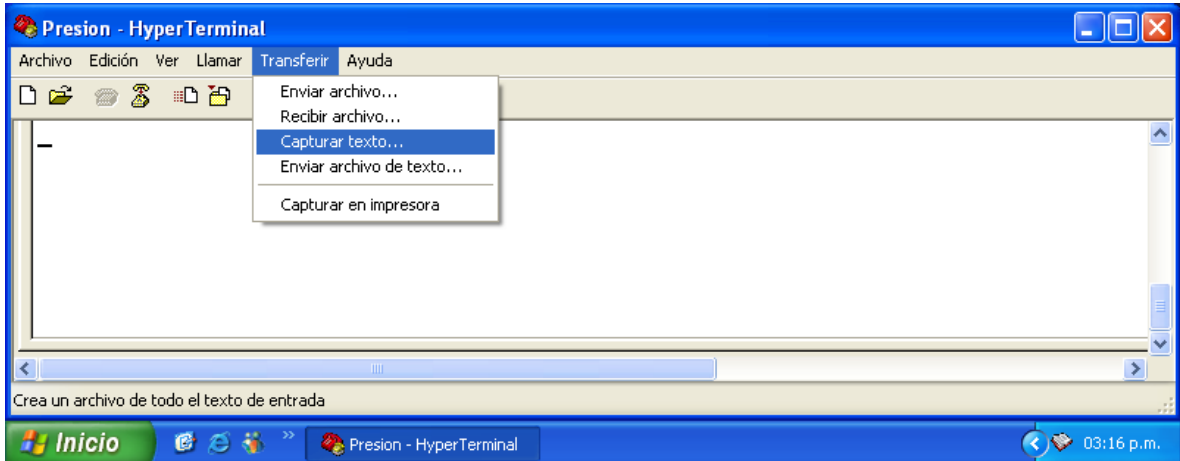
Figura 47. Ventana principal de la aplicación Presion.ht.



- Seleccionar la opción “capturar texto” en el menú “transferir”.

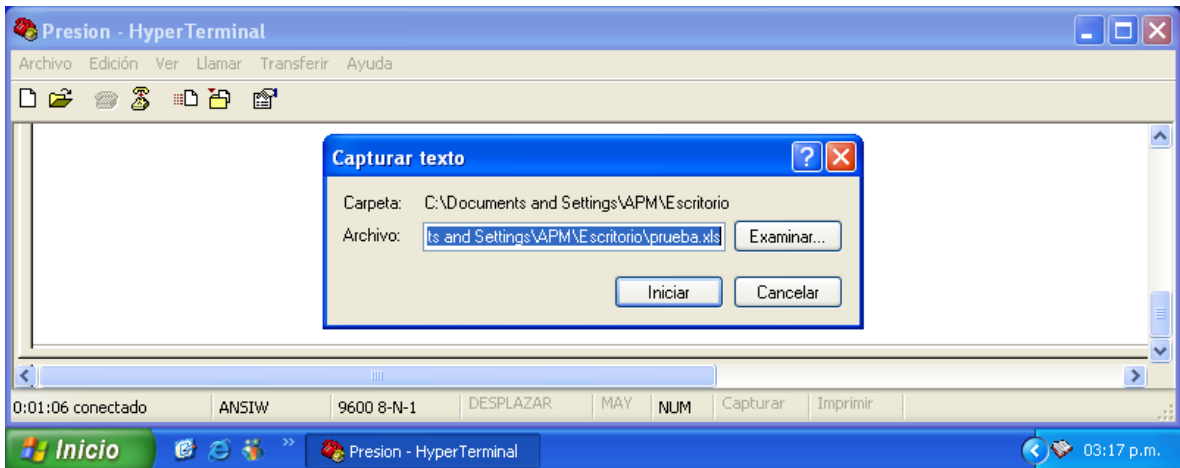


Figura 48. Capturar texto en la aplicación Presion.ht.



- Escoger la ubicación del archivo, escribir el nombre de este con extensión “xls” que es la extensión de los archivos de Excel de Microsoft Office, y seleccionar el icono “iniciar”.

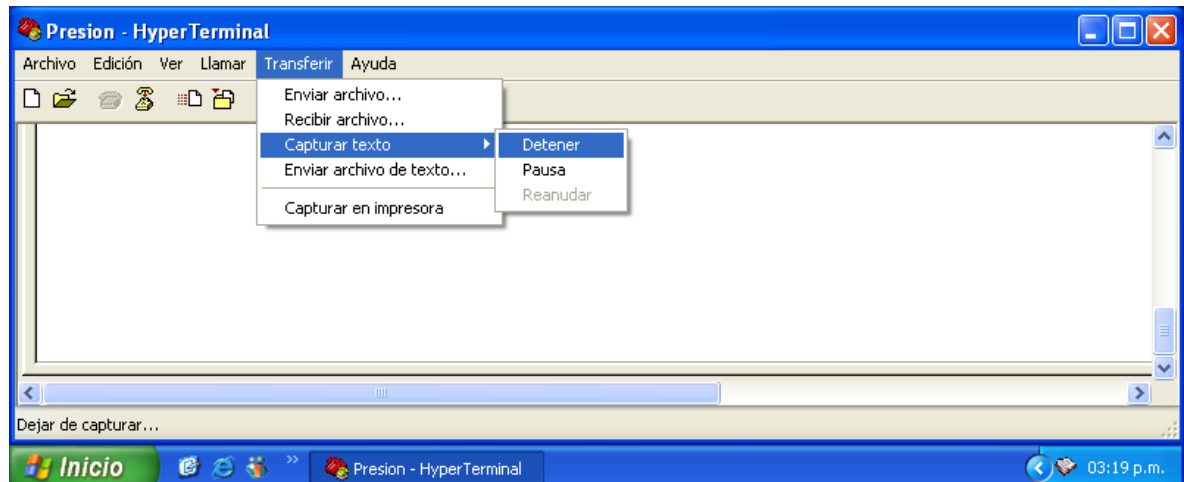
Figura 49. Dirección y nombre de archivo en la aplicación Presion.ht.



- En el instrumento presionar la tecla “1” para que se despliegue el menú de opciones.
- Presionar la tecla “2”. Al hacer esto aparece el mensaje “ENVIANDO...”

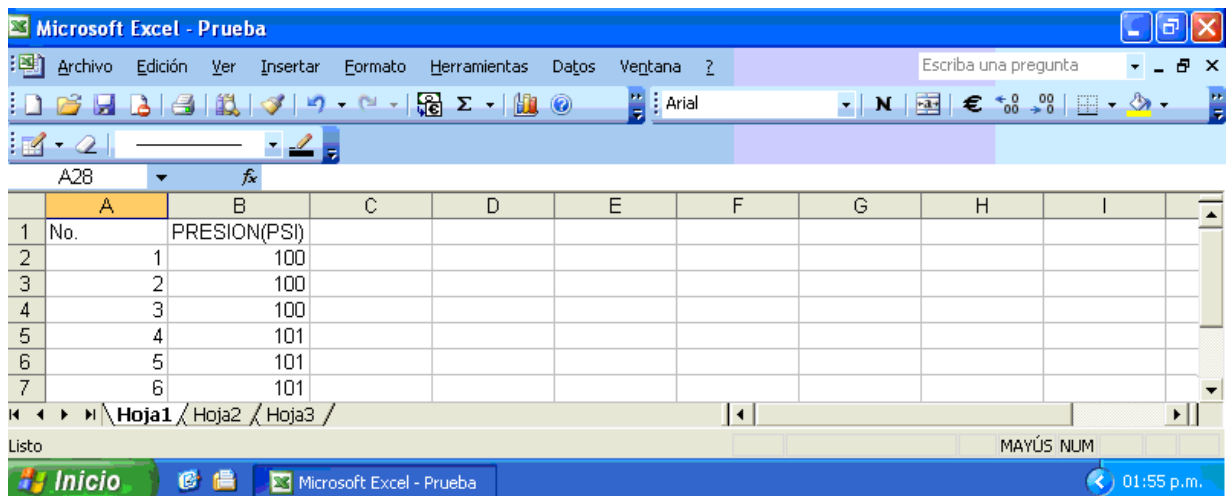
- Seleccionar la opción “Detener”, en el menú Transferir, en la opción capturar texto.

Figura 50. Detener captura de texto en la aplicación Presion.ht.



Al abrir el archivo de Excel, se obtiene una columna de valores de presión encabezada con el texto “PRESION(PSI)” como se muestra a continuación.

Figura 51. Archivo de Excel creado con la aplicación Presion.ht.



**Función Borrar.** Al desplegarse el menú y sostener la tecla “3” se borran todos los valores de presión almacenados en la memoria del instrumento y se muestra el mensaje “BORRANDO....”.

**Función Datos.** Al mostrarse el menú y sostener la tecla “4” se despliega en la pantalla LCD el mensaje “DATOS” y el número de valores de presión que se han almacenado en la memoria del instrumento.

**Función Alarma.** Cuando muestra el menú y se presiona la tecla “5” se despliega el siguiente mensaje: "ACTIVAR? 1)S 2)N", para activar el puerto para la alarma se debe ingresar el numero 1, si se desea lo contrario se ingresa el numero 2. Al ingresar el numero 1 se muestra el mensaje: "PRES. MAX.(PSI)", se debe ingresar el valor de presión máxima en unidades de PSI, posteriormente se despliega el mensaje "PRES. MIN.(PSI)", se ingresa el valor del de presión mínima, en unidades de PSI, finalizado este procedimiento se despliega nuevamente el menú principal.

Los valores de presión ingresados deben estar entre 0 y 250 PSI, valores fuera de este rango no serán aceptados, y el usuario nuevamente deberá volver a digitar el número, el valor mínimo que se ingrese debe ser menor al valor máximo ingresado de lo contrario el valor no se acepta y el usuario debe volver a ingresar otro valor de presión mínima. Cuando el valor de presión es mayor que el valor máximo ingresado por el usuario, se despliega el mensaje “MAX” y cuando el valor de presión es menor que el valor mínimo ingresado por el usuario, se despliega el mensaje “MIN”, en ambos casos se activa el terminal OUT2, (conector jack), cuando este conector se activa sus terminales que normalmente están abiertos se cortocircuitan.

**Ingresar Datos.** Para ingresar un numero, este se debe escribir por medio del teclado numérico, seguido de la tecla “#”, si se comete un error al ingresar un numero se presiona la tecla “\*” para borrar el numero ingresado. Al digitar un número superior a 9999 en circuito receptor despliega el mensaje “NUM. INVALIDO”.

**Capacidad de Memoria.** Este instrumento tiene la capacidad de almacenar en la memoria no volátil, 247 valores de presión, esto valores de presión son registrados cada 6 minutos, lo que permite un tiempo de grabación no continuo de 24 horas

**Mensajes de Manejo de Memoria.** Cuando el instrumento almacena el valor de presión medido, en la memoria interna se despliega el mensaje "GM", cuando esta memoria esta llena, se muestra el mensaje "NE".

**Aviso de Batería.** Cuando el instrumento funciona con batería y esta está por descargarse totalmente, el instrumento muestra el mensaje "BATERIA BAJA", se debe entonces retirar la batería, para recargarla.

### **A.3. INSTRUMENTO PORTÁTIL PARA ALMACENAMIENTO DE INFORMACIÓN**

#### **A.3.1. Características**

- Funcionamiento continuo de has 72 horas.
- Almacenamiento de información en memoria no volátil.
- Comunicación vía RS-232 con un computador.

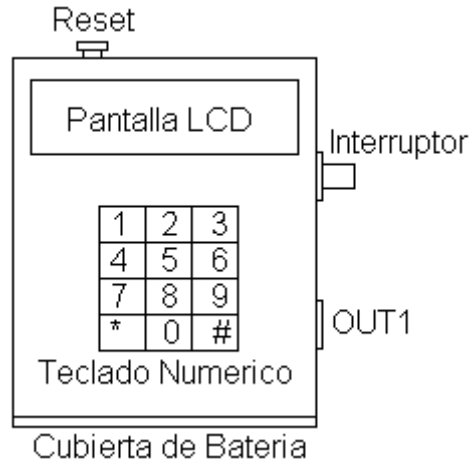
Este instrumento funciona con una pila de 9V DC, se enciende y apaga mediante el interruptor, cuando el instrumento se prende, la pantalla despliega el menú de funciones que posee el instrumento. El botón "reset" se presiona cuando este instrumento no funcionan de manera normal, con el fin de que ejecute correctamente los diferentes procesos que debe realizar, además este botón debe presionarse cuando el instrumento terminar de almacenar la información en la memoria y se muestra el mensaje "PRESIONE RESET".

**A.3.2. Menú de Funciones.** Cuando el instrumento se enciende la pantalla LCD despliega el menú principal que es el siguiente:

"1)ESCRIBIR 2)BORRAR 3)ENVIAR 4)LEER 5)CAMBIAR CLAVE"

**Función Escribir.** Al mantener presionada la tecla "1" cuando se muestra el menú de funciones, el instrumento le solicita al usuario la clave de acceso por medio del siguiente mensaje: "DIGITE LA CLAVE", si la clave ingresada no coincide con la almacenada en el instrumento, no se podrá registrar ninguna información, el instrumento desplegará el mensaje: "CLAVE INCORRECTA" y nuevamente se mostrará el menú principal. Al ingresar la clave correcta y si se va a almacenar la primera lectura de contador de gasto de agua se despliega el mensaje "CODIGO DE SECTOR", el usuario debe ingresar el código del sector de donde va a tomar la información.

Figura 52. Esquema Instrumento portátil para almacenamiento de información.



Debido a que este instrumento solo almacena la información de un sector determinado, este código no se solicita para el ingreso de la información de los usuarios siguientes al primer usuario registrado. Después de ingresado el código del sector, se muestra en pantalla el mensaje "CODIGO", el usuario debe digitar el código del consumidor del acueducto y seguido al ingreso de este dato se muestra el mensaje "LECTURA", el usuario debe ingresar los metros cúbicos que el usuario ha gastado.

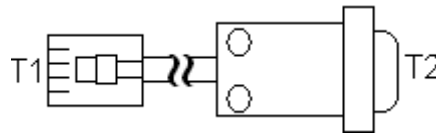
Al terminarse el ingreso del código de usuario y su respectivo consumo, se despliega el siguiente mensaje "SIGUIENTE? 1)N", si se desea ingresar más información se debe presionar la tecla "#", de lo contrario se ingresa el numero 1 para no continuar adquiriendo datos, y se despliega el menú de funciones.

**Función Borrar.** Cuando se despliega el menú principal y se mantiene presionada la tecla "2" por unos segundos se muestra el mensaje "DIGITE LA CLAVE", debe ingresarse la clave del instrumento para realizar el borrado de la memoria donde se han almacenados los datos ingresados por el usuario, Si la clave ingresa no coincide con la almacenada en el instrumento no se podrá borrar ningún dato y se mostrará el mensaje "CLAVE INCORRECTA".

**Función Enviar.** Al sostener la tecla "3" la información almacenada en el instrumento es enviada por el terminal OUT1 (conector jack modular), mediante el protocolo RS-232. Para el almacenamiento de esta información en una computadora deben realizarse los siguientes pasos.

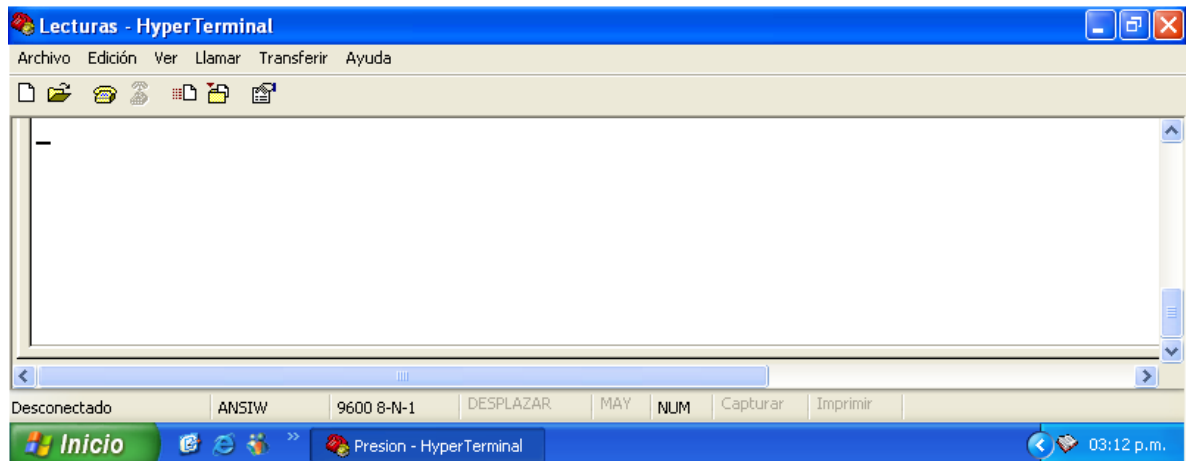
- Encender el Instrumento portátil de adquisición de lecturas de contadores de gasto de agua y el computador.
- Conectar el instrumento con el computador por medio del cable de conexión, el terminal T1 (RJ11) se conecta al puerto OUT1 (jack modular) del circuito y el terminal T2 (DB9 hembra) se conecta al puerto serial del computador.

Figura 53. Cable de conexión al computador.



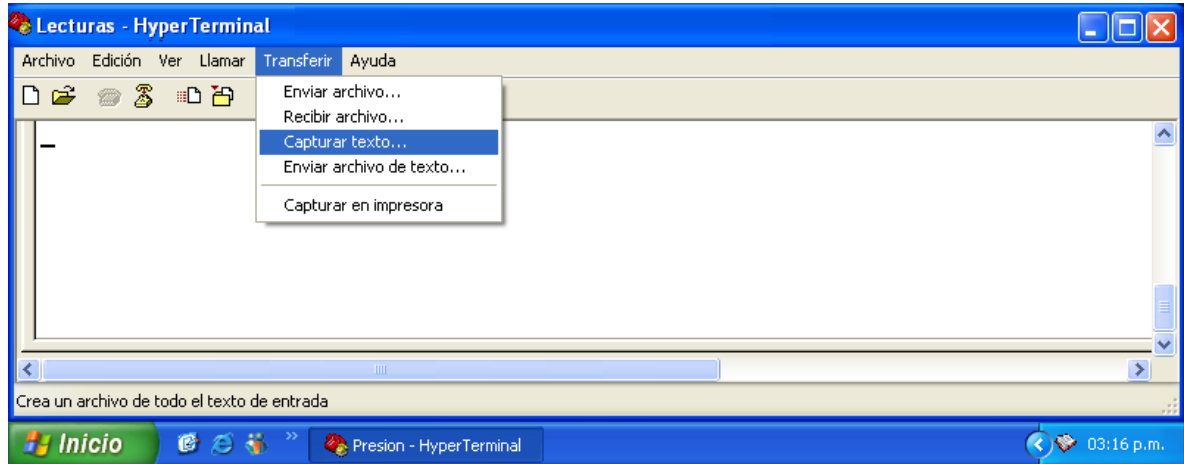
- Ejecutar en el computador el programa Lecturas.ht, una aplicación del programa Hiperterminal de Windows. Al hacer esto aparece la siguiente ventana.

Figura 54. Ventana principal de la aplicación Lecturas.ht.



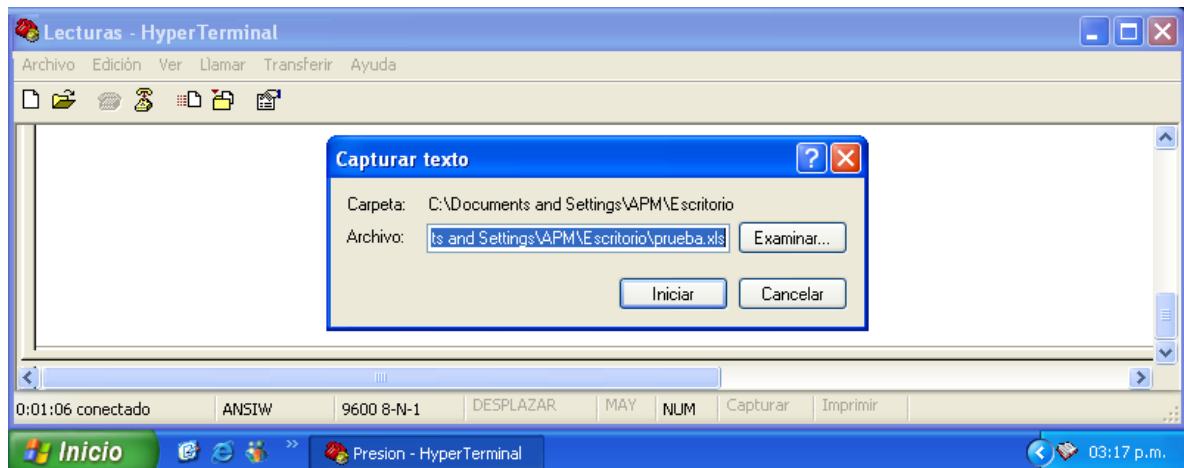
- Seleccionar la opción “capturar texto” en el menú “transferir”.

Figura 55. Capturar texto en la aplicación Lecturas.ht.



- Escoger la ubicación del archivo, escribir el nombre de este con extensión “xls” que es la extensión de los archivos de Excel de Microsoft Office, y seleccionar el icono “iniciar”.

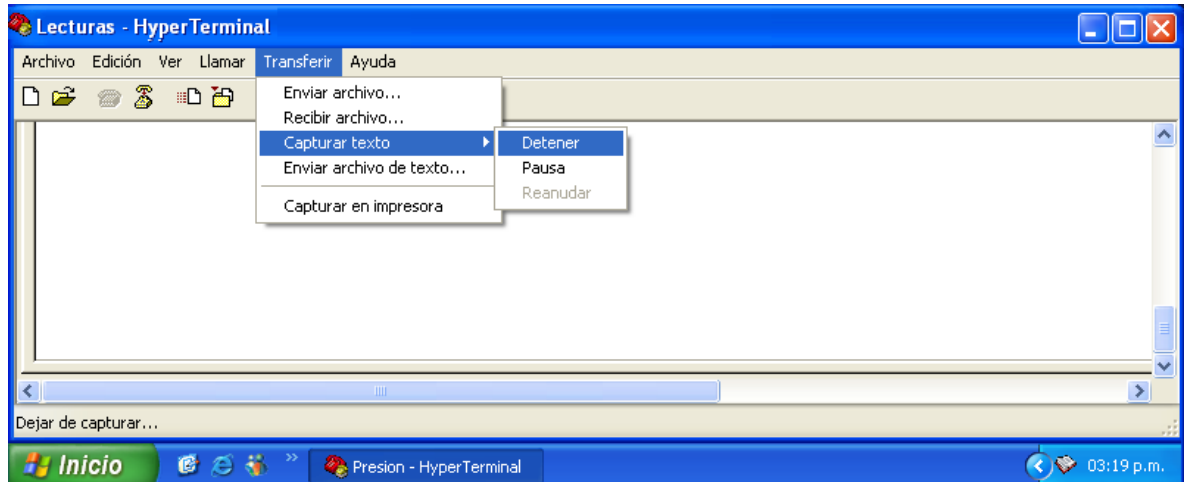
Figura 56. Dirección y nombre de archivo en la aplicación Lecturas.ht.



- Presionar la tecla “1” en el instrumento portátil de adquisición de lecturas, para que se despliegue el menú de opciones.
- Presionar la tecla “3”. Al hacer esto aparece el mensaje “ENVIANDO...”.

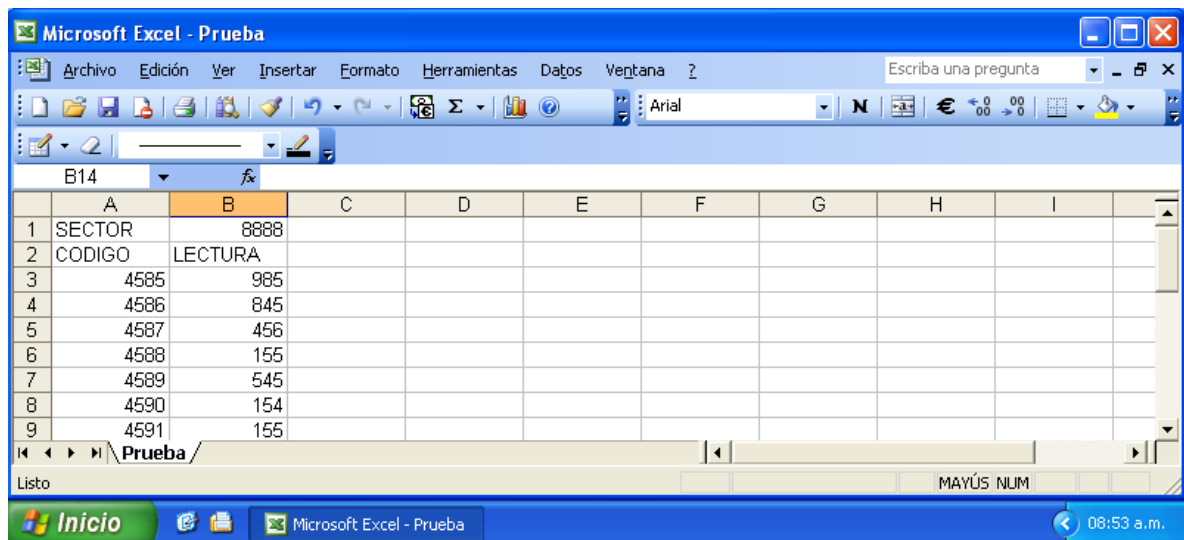
- Seleccionar la opción “Detener”, en el menú Transferir, en la opción capturar texto.

Figura 57. Detener captura de texto en la aplicación Lecturas.ht.



Al abrir el archivo de Excel que se crea, se obtiene primero el sector de donde se tomo la información y seguidamente el código de cada usuario del acueducto con la correspondiente lectura de su contador de gasto de agua como se muestra en la siguiente figura.

Figura 58. Archivo de Excel creado con la aplicación Lecturas.ht.





**Función Leer.** Al presionar la tecla “4” mientras se despliega el menú principal, se muestra en pantalla el mensaje “CODIGO” junto con el último código del consumidor que se ha registrado y posteriormente el mensaje “LECTURA” junto con la última lectura de gasto de agua en metros cúbicos que se ha registrado.

**Función Cambiar Clave.** Cuando se muestra el menú de funciones, al presionar la tecla “5” se muestra el mensaje "CLAVE ANTERIOR", el usuario debe ingresar la clave de seguridad del instrumento, si la clave ingresada no coincide con la almacenada en el instrumento se muestra el mensaje “CLAVE INCORRECTA” y se vuelve al menú de funciones, pero si la clave ingresada coincide con la almacenada en el instrumento se despliega el mensaje "NUEVA CLAVE", el usuario debe ingresar la nueva clave.

**Mensajes de Manejo de Memoria.** Cuando el instrumento almacena la información ingresada por el usuario en una memoria no volátil de mayor capacidad, el instrumento despliega el mensaje "GRAB. MEM. PROG", terminado este procedimiento se muestra el mensaje “GRAB. TERMINADA”.

Cuando no hay espacio en la memoria para almacenar los códigos y las lecturas, el instrumento muestra el mensaje "MEMORIA LLENA”.

Al seleccionar la opción de leer o de enviar en el menú de funciones sin que se haya ingresado ningún dato, el instrumento muestra el mensaje “MEMORIA VACIA”.

**Ingresar Datos.** Para ingresar un número, este se debe escribir por medio del teclado numérico, seguido de la tecla “#”, si se comete un error al ingresar un número se presiona la tecla “\*” para borrar el número ingresado. Al digitar un número superior a 9999 en circuito receptor despliega el mensaje “NUM. INVALIDO”.

**Aviso de Batería.** Cuando la batería con la que funciona el instrumento está por descargarse totalmente, el instrumento muestra el mensaje “BATERIA BAJA”, se debe entonces apagar el instrumento y reemplazar la batería por una nueva.