



**UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA**

*La Universidad Católica de Loja*

**MODALIDAD CLÁSICA**

**ESCUELA DE ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES**

**Diseño e implementación de un sistema de monitoreo remoto de variables hidráulicas de la red de agua potable de la UTPL, utilizando la plataforma GPRS**

**Trabajo de fin de carrera previa a la obtención del título de Ingeniería en Electrónica y Telecomunicaciones**

**AUTORES:** Luis Alfredo Quichimbo Armijos

Fernando Israel Reyes Abarca

**DIRECTOR:** Ing. Carlos Alberto Calderón Córdova

Loja-Ecuador 2012



## CERTIFICACIÓN

Ing. Carlos Calderón

Docente Investigador de la Escuela de Ingeniería en Electrónica y Telecomunicaciones de la Universidad Técnica Particular de Loja.

Certifica:

Que, una vez concluido el trabajo de investigación con el tema “DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE MONITOREO REMOTO DE VARIABLES HIDRÁULICAS DE LA RED DE AGUA POTABLE DE LA UTP L UTILIZANDO LA PLATAFORMA DE GPRS, previo a la obtención del título de Ingeniero en Electrónica y Telecomunicaciones, realizado por los señores Fernando Israel Reyes Abarca y Luis Alfredo Quichimbo Armijos estudiantes de la Escuela de Ingeniería en Electrónica y Telecomunicaciones; haber dirigido, supervisado y asesorado en forma detenida cada uno de los aspectos de la tesis de pregrado.

Atentamente,

.....  
Ing. Carlos Calderón  
DIRECTOR DE TESIS

## **CESIÓN DE DERECHOS EN TESIS DE GRADO**

Nosotros, Fernando Israel Reyes Abarca y Luis Alfredo Quichimbo Armijos declaramos ser autores del presente trabajo y eximimos expresamente a la Universidad Técnica Particular de Loja y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales.

Adicionalmente declaramos conocer y aceptar la disposición del Art. 67 del Estatuto Orgánico de la Universidad Técnica Particular de Loja que en su parte pertinente textualmente dice: “Forman parte del patrimonio de la Universidad la propiedad intelectual de investigaciones, trabajos científicos o técnicos y tesis de grado que se realicen a través, o con el apoyo financiero, académico o institucional (operativo) de la Universidad”

.....  
Fernando Israel Reyes

.....  
Luis A. Quichimbo

## DEDICATORIA

A Dios, siempre presente. A Isafas y  
Andrea. A mis Padres y Hermanos.

Fernando Israel Reyes

A Madamny y Juan, mis padres, por  
toda la comprensión y apoyo brindado.

Luis Alfredo Quichimbo

## **AGRADECIMIENTO**

De manera muy especial al Ing. Carlos Calderón, nuestro director de tesis, que supo guiarnos durante todo nuestro proceso de formación de ingenieros hasta culminar con satisfacción nuestra tesis. Al PhD. Holger Benavides, Docente Investigador de la UTP de la Unidad Civil Geominera, quien es el precursor de este proyecto, por la paciencia y todo el apoyo brindado.

A todas las personas, que de una u otra manera, supieron brindarnos su apoyo generoso para que esta tesis se haga una realidad.

Los autores.

# CONTENIDO

CERTIFICACIÓN.....	I
CESIÓN DE DERECHOS EN TESIS DE GRADO.....	II
DEDICATORIA.....	III
AGRADECIMIENTO.....	IV
CONTENIDO.....	V
ÍNDICE DE FIGURAS.....	VII
ÍNDICE DE TABLAS.....	IX
RESUMEN.....	X
INTRODUCCIÓN.....	XI
OBJETIVOS.....	XII
<b>1. CONCEPTOS GENERALES.....</b>	<b>1</b>
1.1 RED DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA POTABLE.....	1
1.1.1 ELEMENTOS DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA POTABLE.....	1
1.1.2 PROBLEMAS EN LA RED DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA POTABLE.....	2
1.1.3 RED EN EL CAMPUS UTPL.....	3
1.1.4 PUNTOS DE MEDICIÓN.....	3
1.2 INSTRUMENTOS PARA MEDICIÓN DE PRESIÓN.....	4
1.2.1 INSTRUMENTOS MECÁNICOS.....	4
1.2.2 INSTRUMENTOS NEUMÁTICOS.....	4
1.2.3 INSTRUMENTOS ELECTROMECÁNICOS.....	5
1.2.4 INSTRUMENTOS ELECTRÓNICOS DE VACÍO.....	6
1.3 INSTRUMENTOS PARA MEDICIÓN DE CAUDAL.....	6
1.3.1 INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN INVASIVOS.....	6
1.3.2 INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN NO INVASIVOS.....	7
1.4 BUCLE DE CORRIENTE Y VOLTAJE.....	8
1.4.1 COMPARACIÓN ENTRE BUCLES DE CORRIENTE Y VOLTAJE.....	8
1.4.2 COMPONENTES DEL BUCLE DE CORRIENTE.....	10
1.4.3 TIPOS DE BUCLES DE CORRIENTE.....	10
1.5 RED GPRS.....	12
1.5.1 ARQUITECTURA DE LA RED GPRS.....	12
1.6 ESTÁNDARES DE PROTECCIÓN DE EQUIPOS.....	14
1.7 REGRESIÓN LINEAL POR EL MÉTODO DE LOS MÍNIMOS CUADRADOS.....	16
<b>2. ARQUITECTURA DEL SISTEMA.....</b>	<b>19</b>
2.1 ESTACIONES REMOTAS.....	19
2.1.1 MEDICIÓN DE VARIABLES.....	20
2.1.2 TRANSMISIÓN DE SEÑAL DE CORRIENTE.....	22
2.1.3 PROCESAMIENTO DE DATOS.....	23
2.1.4 ENVÍO DE DATOS.....	25
2.2 RED DE DATOS.....	27
2.3 ESTACIÓN DE MONITOREO.....	28
<b>3. DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN.....</b>	<b>29</b>

3.1	MÓDULO DE PROCESAMIENTO DE DATOS .....	29
3.1.1	ADQUISICIÓN DE DATOS .....	30
3.1.2	OSCILADOR EXTERNO.....	33
3.1.3	ALIMENTACIÓN DEL CIRCUITO.....	34
3.1.4	LEDs INDICADORES.....	34
3.1.5	INTERFAZ DE COMUNICACIÓN PIC-MODEM.....	35
3.1.6	RELOJ EN TIEMPO REAL.....	36
3.1.7	CARGADOR DE ARRANQUE (BOOTLOADER) .....	36
3.1.8	PROGRAMA PARA PIC 18F2550 .....	39
3.1.9	CIRCUITO IMPRESO .....	43
3.2	ESTACIÓN REMOTA .....	45
3.3	CONFIGURACIÓN DEL MODEM SKYPATROL .....	48
3.3.1	CONFIGURACIÓN DE LA INTERFAZ SERIAL RS-232.....	48
3.3.2	CONFIGURACIÓN DEL ACCESO A LA RED GPRS.....	49
3.3.3	CONFIGURACIÓN DE LA DIRECCIÓN IP Y PUERTO DEL SERVIDOR ....	49
3.3.4	CONFIGURACIÓN DEL REGISTRO A LA RED .....	50
3.3.5	GUARDAR LOS CAMBIOS EN LAS CONFIGURACIONES .....	50
3.4	INSTALACIÓN DE INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN.....	50
3.4.1	INSTALACIÓN DEL CAUDALÍMETRO POLYSONICS DCT7088 .....	51
3.4.2	INSTALACIÓN DEL TRANSMISOR DE PRESIÓN ECO-1 .....	53
3.5	CALIBRACIÓN DEL SISTEMA.....	54
3.5.1	CONVERSIÓN DE CORRIENTE A VOLTAJE.....	54
3.5.2	RELACIÓN ENTRE SEÑAL DE CORRIENTE DE ENTRADA Y VALOR DE CORRIENTE CONVERTIDO EN EL PIC .....	57
<b>4.</b>	<b>PUESTA EN MARCHA DEL SISTEMA DE TELEMETRÍA.....</b>	<b>61</b>
<b>5.</b>	<b>ANÁLISIS DE COSTOS.....</b>	<b>66</b>
5.1	INVERSIÓN INICIAL.....	66
5.1.1	ESTACIÓN DE MONITOREO .....	66
5.1.2	ESTACIÓN REMOTA.....	66
5.1.3	TRANSMISORES DE PRESIÓN Y CAUDAL.....	67
5.1.4	INSTALACIÓN Y CONFIGURACIÓN .....	68
5.1.5	RESUMEN.....	68
5.2	INVERSIÓN MENSUAL.....	68
5.3	PERSPECTIVA DE COMERCIALIZACIÓN .....	69
<b>6.</b>	<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</b>	<b>70</b>
6.1	CONCLUSIONES .....	70
6.2	RECOMENDACIONES.....	71
<b>7.</b>	<b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>73</b>
<b>8.</b>	<b>ANEXOS.....</b>	<b>75</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Instrumentos de medición eletromecánicos [5].....	5
Figura 1.2 Métodos de montaje de los medidores de tipo ultrasónico [8].....	8
Figura 1.3 Esquema básico de lazo de corriente.....	9
Figura 1.4 Componentes del lazo de corriente [11] .....	10
Figura 1.5 Bucle de corriente de 2 hilos con fuente de alimentación externa y resistor externo [9].....	11
Figura 1.6 Bucle de corriente tipo 3 [9].....	11
Figura 1.7 Arquitectura de la red GSM.....	13
Figura 1.8 Arquitectura de la red GPRS.....	14
Figura 1.9 Datos medidos con su respectiva regresión lineal.....	17
Figura 2.1 Arquitectura general del sistema de monitoreo.....	19
Figura 2.2 Componentes de las estaciones remotas.....	19
Figura 2.3 Transmisor de presión ECO-1.....	20
Figura 2.4 Caudalímetro Polysonics DCT7088.....	21
Figura 2.5 Conexión ECO-1 con bucle de corriente.....	22
Figura 2.6 Conexión del Caudalímetro con bucle de corriente.....	23
Figura 2.7 Software HID bootloader para cargar el código fuente al microcontrolador.....	25
Figura 2.8 Modem SKYPATROL.....	26
Figura 3.1 Esquema del módulo de procesamiento de datos.....	29
Figura 3.2 Conexión de los transmisores al módulo de procesamiento.....	30
Figura 3.3 Esquema de conversión de señal de corriente a voltaje.....	31
Figura 3.4 Circuito voltaje de referencia negativo.....	32
Figura 3.5 Circuito del oscilador externo.....	33
Figura 3.6 Esquema en cascada para alimentación del circuito.....	34
Figura 3.7 Circuito de alimentación.....	34
Figura 3.8 Circuito de leds indicadores.....	35
Figura 3.9 Circuito de la interfaz de comunicación PIC-Módem.....	35
Figura 3.10 Circuito del reloj en tiempo real.....	36
Figura 3.11 Circuito de conexión microcontrolador con el puerto USB.....	37
Figura 3.12 Botones de reinicio y programación.....	37
Figura 3.13 Captura de pantalla del Bootloader.....	38
Figura 3.14 Diagrama de flujo del programa para el PIC.....	39
Figura 3.15 Trama a ser enviada a la estación de monitoreo.....	42
Figura 3.16 Placa impresa del módulo de procesamiento.....	44
Figura 3.17 Vista en 3D del módulo de procesamiento.....	44
Figura 3.18 Placa de circuito impreso implementada.....	46
Figura 3.19 Distribución de elementos en la caja.....	46
Figura 3.20 Vista general de la estación remota.....	47
Figura 3.21 Vista frontal de la estación remota.....	47
Figura 3.22 Lugares recomendados para instalar los transductores ultrasónicos [8].....	51
Figura 3.23 Montaje en Z de los transductores [8].....	52

Figura 3.24 Instalación de transductores ultrasónicos.....	53
Figura 3.25 Transmisor de presión ECO-1 instalado.....	53
Figura 3.26 Conexión para las mediciones corriente-voltaje.....	55
Figura 3.27 Calibración del sistema.....	55
Figura 3.28 Relación en conversión de corriente a voltaje.....	56
Figura 3.29 Error relativo en las 4 entradas.....	58
Figura 3.30 Corriente DCT7088 vs Corriente PIC y Ecuacion Canal1.....	58
Figura 3.31 Corriente DCT7088 vs Corriente PIC y Ecuacion Canal 2.....	59
Figura 3.32 Corriente DCT7088 vs Corriente PIC y Ecuacion Canal 3.....	59
Figura 3.33 Corriente DCT7088 vs Corriente PIC y Ecuacion Canal 4.....	60
Figura 4.1 Caudalímetro ABB Magmaster.....	61
Figura 4.2 Caudalímetro ABB Magmaster instalado.....	62
Figura 4.3 Conexion de la salida de corriente del caudalimetro ABB.....	62
Figura 4.4 Ubicación de transmisores de presión.....	63
Figura 4.5 Captura de pantalla de la base de datos del servidor.....	65

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1 Valores nominales de variables y rango de medición de los transmisores	3
Tabla 1.2 Clasificación del estándar de protección IP .....	15
Tabla 1.3 Estándares NEMA más comunes .....	16
Tabla 2.1 Características del transmisor de presión ECO-1 .....	21
Tabla 2.2 Características de caudalímetro Polysonics DCT7088 .....	22
Tabla 2.3 Principales características del PIC 18F2550.....	24
Tabla 3.1 Capacitores recomendados para varias frecuencias.....	33
Tabla 3.2 Cuantificación de las entradas al nivel correspondiente.....	42
Tabla 3.3 Descripción del contenido de la trama .....	43
Tabla 3.4 Lista de componentes del módulo de procesamiento .....	45
Tabla 3.5 Configuración serial del módem .....	48
Tabla 3.6 Corriente de entrada y voltaje medido en la RV1 .....	56
Tabla 3.7 Señal de corriente con respecto a cada una de las entradas.....	57
Tabla 3.8 Resumen de linealización de entradas .....	60
Tabla 5.1 Inversión estación de monitoreo .....	66
Tabla 5.2 Inversión por cada estación remota .....	67
Tabla 5.3 Total de inversión en dos estaciones remotas .....	67
Tabla 5.4 Inversión en transmisores de presión y caudal .....	67
Tabla 5.5 Inversión en instalación y configuración .....	68
Tabla 5.6 Resumen de inversión inicial .....	68
Tabla 5.7 Planes GPRS prepago Movistar .....	68
Tabla 5.8 Planes GPRS bajo demanda .....	69

## RESUMEN

Este trabajo presenta los resultados obtenidos al diseñar e implementar un sistema de monitoreo remoto de la red de agua potable dentro del campus de la UTPL, utilizando como plataforma de transmisión de datos, la red GPRS de las operadoras de telefonía móvil. Las variables hidráulicas a medir son la presión y el caudal, para ello utilizamos transmisores de presión y de caudal que entregan a su salida una señal de corriente de 4 a 20mA, las cuales son convertidas a señal de voltaje para poder ser digitalizadas en el módulo de procesamiento, para su posterior transmisión a través de un modem GSM con soporte para GPRS hacia una estación central ubicada en la UTPL.

# INTRODUCCIÓN

A medida que va aumentando la población, lo hace también, la demanda de recursos hídricos, lo que supone un reto para los profesionales que trabajan en lo relacionado al abastecimiento del agua, ya que se debe asegurar una calidad adecuada del agua y sobre todo se debe asegurar que se va a contar con el recurso. El agua, además, es un recurso finito y esencial para sostener la vida, el desarrollo y el medio ambiente.

Es común, hoy en día, escuchar acerca de una supuesta crisis mundial del agua, la cual está fundamentada en el crecimiento demográfico, riqueza, demanda creciente, etc., sin embargo, cada vez es más evidente que lo que origina esta crisis no son los problemas antes mencionados, sino la mala gestión y, en la mayoría de los casos, la inexistente gestión hídrica. Con una adecuada gestión y una correcta selección de prioridades, no hay razón para no contar con la suficiente agua, aún en las zonas más áridas y secas del planeta [1].

Hablar de gestión hídrica significa que los recursos hídricos deben manejarse de forma holística, coordinando e integrando todos los aspectos y las funciones de extracción y distribución del agua y de los servicios de suministro relacionados con el agua, para que reporten beneficios sostenibles y equitativos a todos los que dependen del recurso.

La gestión hídrica es un tema bastante amplio que incluye entre otras cosas planificación, monitoreo y análisis de datos, sin embargo en el presente trabajo de tesis, nos enfocaremos en dar una alternativa viable al subsistema del monitoreo.

Para esto hemos diseñado e implementado un sistema que, a través de la adquisición de variables hidráulicas (caudales y presiones) y su posterior transmisión, son enviadas hacia una estación central por medio de la red GPRS, para así obtener valores reales y actuales del estado de la red hidráulica del campus de la UTPL.

Además, debido al convenio de transferencia de tecnología existente entre la Unidad Municipal de Agua potable y Alcantarillado (UMAPAL) y la UTPL, el sistema de monitoreo fue puesto en funcionamiento en uno de los nudos de control de la red de agua potable de la ciudad de Loja, logrando confirmar que el sistema puede ser implementado en cualquier punto, donde se desee monitorear una red hídrica, siempre y cuando se cuente con cobertura de la red celular.

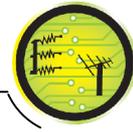
# OBJETIVOS

## OBJETIVO GENERAL

Diseñar e implementar una estación remota que permita adquirir la señal de corriente de transmisores de presión y caudal, y transmitir los datos digitalizados a una estación central de monitoreo, ubicada en la Universidad Técnica Particular de Loja.

## OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Elaborar una estación remota con capacidad para cuatro entradas analógicas de corriente de 4 a 20mA.
- Enviar datos instantáneos y datos promedios, de cada una de las variables adquiridas desde la estación remota hacia la estación central de monitoreo.
- Utilizar la red GPRS (General Packet Radio Service) para la transmisión de los datos que adquiere la estación remota.
- Calibrar el sistema mediante la comparación de las variables adquiridas por la estación, con los instrumentos de referencia suministrados por UCG (Unidad Civil Geominera).
- Instalación, evaluación y puesta en marcha del sistema de telemonitoreo.



## 1. CONCEPTOS GENERALES

### 1.1 RED DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA POTABLE

Un sistema de abastecimiento de agua potable está formado por un conjunto de obras civiles que permiten conducir el fluido desde su lugar de existencia natural hasta el hogar de cada usuario [2]. El sistema de abastecimiento cuenta con algunos componentes, entre los cuales se destacan los siguientes:

- Almacenamiento de agua bruta o fuente de provisión.
- Captación desde fuentes de agua.
- Planta de tratamiento.
- Almacenamiento de agua tratada.
- Red de distribución de agua potable.
- Acometida domiciliaria.

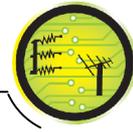
La red de distribución es un sistema de tuberías que conducen el agua dentro de las poblaciones, hasta los puntos donde se instalan las acometidas que la llevan al interior de las viviendas y otros locales.

En nuestro país los encargados de construir y administrar el sistema de abastecimiento de agua potable para las ciudades, son los gobiernos autónomos o Municipios. Para el caso de Loja, el Municipio ha designado estas tareas a un departamento especializado, la Unidad Municipal de Agua Potable y Alcantarillado (UMAPAL), su trabajo va desde el almacenamiento de agua bruta hasta la red de distribución, es necesario recalcar que la acometida domiciliaria es administrada por el usuario del servicio de agua potable, sin embargo, en algunos casos, como el de la UTPL, la institución misma es quien ha asumido la labor de implementar y administrar la red de distribución y acometida de agua potable dentro del campus universitario.

#### 1.1.1 ELEMENTOS DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA POTABLE

##### 1.1.1.1 Línea

Representa a los elementos pasivos que disipan la energía del fluido, tales como tuberías, válvulas, etc., o también aquellos elementos activos que comunican energía al fluido como son las bombas elevadoras [3].



### 1.1.1.2 Nudo

Corresponde a un extremo de la línea, o también un punto en la red en donde ocurre intersección entre dos o más líneas [3]. Existen diferentes tipos de nudos:

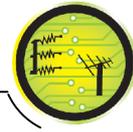
- *Nudo Fuente:* Es un punto en la red, que recibe un aporte externo de caudal.
- *Nudo de Consumo:* Es un punto en donde se realiza una extracción de caudal.
- *Nudo de Conexión:* Es un punto en la red, en donde no existe ningún aporte o extracción de caudal, simplemente hay una transferencia de caudal entre líneas.

### 1.1.2 PROBLEMAS EN LA RED DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA POTABLE

Las redes de distribución, tal como sucede en todo sistema de abastecimiento de agua, están expuestas a pérdidas de carga, siempre que éstas sean debidas a la circulación del líquido por las tuberías y nudos se las puede considerar como parte del sistema, pero si éstas pérdidas se deben a fugas en tuberías debido a roturas en donde se desperdicia paulatinamente el agua, es necesario tomar medidas inmediatas para corregir, lo más pronto posible, estos inconvenientes.

Un abastecimiento de agua potable que no dispone y aprovecha los dispositivos e instrumentos adecuados para monitorear, al menos, la variación temporal de caudales y presiones, no permite su gestión hidráulica apropiada, es por esto que contar con información oportuna de caudales y presiones ayuda a garantizar la toma de decisiones adecuadas, para poder gestionar de la mejor manera el recurso hídrico dentro de una red.

En el campus de la UTPL, el mayor problema es la falta de un sistema de gestión del agua potable que permita monitorear la red permanentemente, para controlar a tiempo las fugas de agua que se produzcan en la red de distribución o de ser posible evitarlas. Actualmente no se cuenta con datos instantáneos de presión y caudal del agua (como mínimo) en ningún punto de la red, para poder conocer el rendimiento volumétrico o fugas por acometida por día y por metro de carga en la red, datos muy importantes que no pueden basarse en supuestos, sino que deben tener el sustento técnico necesario para poder realizar una verdadera gestión técnica del sistema de distribución de agua potable y que además permitirá contar con datos para verificar la evolución temporal, comportamiento y cambios de carga a la que se somete la red.



### 1.1.3 RED EN EL CAMPUS UTPL

La red de distribución de agua potable en el campus universitario, tiene 14 nudos de control, que para su mejor gestión están divididos a su vez en 3 zonas: alta, media y baja. Ver anexo 1.

### 1.1.4 PUNTOS DE MEDICIÓN

Para fines prácticos y con el propósito de evidenciar que el sistema funciona correctamente, se realizará la instalación de transmisores de presión y caudal en dos puntos de medición, en el nudo I de la zona alta y en el nudo IX de la zona media de la red de distribución de agua de la UTPL.

Para poder seleccionar el tipo de transmisores apropiados a la aplicación, debemos conocer los valores nominales de las variables a medir para evitar sobre dimensionamientos en los equipos de instrumentación, cabe señalar, que estos transmisores ya fueron adquiridos previamente y que sus características se adaptan a nuestro sistema, en la tabla 1.1 se resumen estos valores.

Variable	Rango de medición del transmisor	Valor nominal promedio **	
		Nudo I, Zona alta	Nudo IX, Zona media
Presión	0 a 300 psi	2,3 psi	3,6 psi
Caudal	0 a 38 lt/s*	2,5 lt/s	0,9 lt/s

\* Considerando que el rango de medición del caudalímetro es 0-12 m/s, en una tubería de 63mm de diámetro.

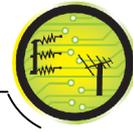
\*\* Fuente: Unidad Civil y Geominera (UCG) de la UTPL.

**Tabla 1.1 Valores nominales de variables y rango de medición de los transmisores**

Como se puede apreciar, los transmisores fueron elegidos muy generosamente, lo que ofrece cierta seguridad al no tener mayores preocupaciones por eventuales problemas producto de la cavitación<sup>1</sup> o el golpe de ariete<sup>2</sup>.

<sup>1</sup>La *cavitación* es un fenómeno que ocurre cuando se producen simultáneamente dos factores: Un descenso en la presión máxima, y una presión de salida baja.

<sup>2</sup> El *golpe de ariete* es un fenómeno que se debe a un cambio brusco en el movimiento de un fluido dentro de un conducto cerrado y que produce variaciones de presión y/o vibraciones, que puede estar provocado por una restricción de sección, un cambio de dirección brusco o el cierre de una válvula [4].



## 1.2 INSTRUMENTOS PARA MEDICIÓN DE PRESIÓN

La necesidad de utilizar sistemas de automatización y/o monitoreo en los procesos industriales, de acuerdo a los requerimientos del escenario, exigen entre otros la medida de presión, para lo cual existen diversos tipos de instrumentos. Pero antes de realizar una descripción de estos, es importante establecer una diferencia entre presión absoluta, presión manométrica y presión diferencial.

La *presión absoluta* se mide en relación con un vacío perfecto, cuando la presión está referida al cero absoluto; la *presión manométrica* mide la diferencia entre la presión absoluta y la barométrica del lugar donde se efectúa la medición; mientras que la *presión diferencial* es el resultado de la diferencia que existe entre presiones medidas en dos puntos.

La presión puede ser medida utilizando diferentes tipos de instrumentos que se clasifican según el principio de funcionamiento en el cual están basados, funcionalmente se dividen en cuatro grupos: mecánicos, neumáticos, electromecánicos y electrónicos de vacío [5].

### 1.2.1 INSTRUMENTOS MECÁNICOS

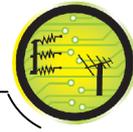
Se subdividen de acuerdo a los elementos primarios que utilizan:

- *Elementos primarios de medida directa* que miden la presión comparándola con la ejercida por un líquido de densidad y altura conocida
- *Elementos primarios elásticos* que se deforman por la presión interna del fluido que contienen.

### 1.2.2 INSTRUMENTOS NEUMÁTICOS

Los instrumentos de medición neumáticos se clasifican de acuerdo al principio de operación [5]:

- Transmisor de equilibrio de movimientos
- Transmisor de equilibrio de fuerza
- Transmisor de equilibrio de momentos



### 1.2.3 INSTRUMENTOS ELECTROMECAÑICOS

Estos instrumentos están compuestos por un elemento mecánico elástico combinado con un transductor eléctrico que genera la señal eléctrica correspondiente a la energía producida por la deformación del elemento mecánico. Los transductores eléctricos pueden ser de tipo resistivo, capacitivo, magnético, strain gauge<sup>3</sup> o piezoeléctrico [5], ver figura 1.1.

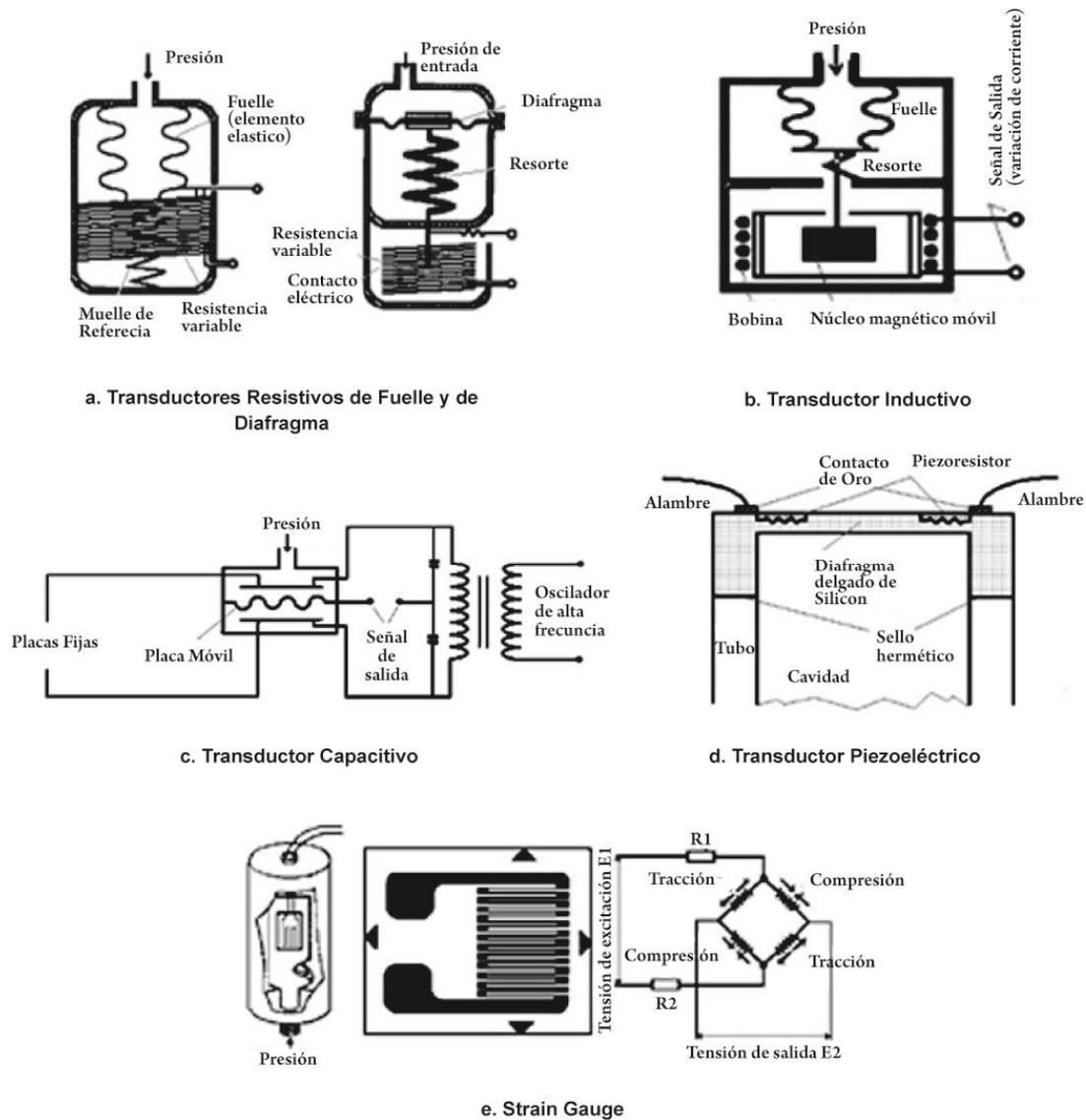
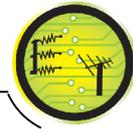


Figura 1.1 Instrumentos de medición eletromecánicos [5]

Dependiendo del tipo de aplicación al que serán sometidos los instrumentos, cada uno de ellos posee sus ventajas y desventajas. Como por ejemplo, el transductor de

<sup>3</sup> También conocida como *galga extensiométrica* que se basa en la variación de longitud y de diámetro, y por lo tanto de su resistencia.



tipo resistivo posee una estabilidad pobre en el tiempo, entrega medidas discretas, mientras que, los piezoeléctricos por su lado, presentan alta sensibilidad y rigidez mecánica, apta para medir esfuerzos variables (fuerza-presión).

#### **1.2.4 INSTRUMENTOS ELECTRÓNICOS DE VACÍO**

Se usan para medir presiones absolutas en el rango de vacío (presiones menores que la barométrica). Poseen una alta sensibilidad y se basan en las variaciones de determinadas propiedades físicas de los gases, producidas por los cambios de presión. Los instrumentos electrónicos de vacío se clasifican, según el principio de medición, en: presión hidrostática, conductividad térmica y transductor de ionización [6].

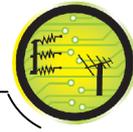
### **1.3 INSTRUMENTOS PARA MEDICIÓN DE CAUDAL**

Los medidores de caudal o también llamados caudalímetros son los encargados de determinar la cantidad de masa o volumen, que circula por un ducto, por unidad de tiempo. Para lograr determinar esta magnitud actualmente existen instrumentos que necesariamente deben ser insertados en los ductos obstruyendo el paso del fluido, provocando pérdidas de presión. Así también, existen instrumentos que consiguen obtener la medida del caudal sin ser introducidos en los ductos, logrando una interferencia nula en el paso del fluido. De acuerdo a esto se puede clasificar a los instrumentos de medición de caudal en dos grupos: invasivos y no invasivos.

#### **1.3.1 INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN INVASIVOS**

##### **1.3.1.1 *Medidores de presión diferencial***

Presentan una reducción de la sección de paso del fluido, dando lugar a que el fluido aumente su velocidad, lo que origina un aumento de su energía cinética y, por consiguiente, su presión tiende a disminuir en una proporción equivalente, de acuerdo con el principio de la conservación de la energía, creando una diferencia de presión estática entre las secciones: aguas arriba y aguas abajo respecto del medidor [5].



### **1.3.1.2 Medidores de desplazamiento positivo**

Miden la cantidad de fluido que circula por un conducto, dividiendo el flujo en volúmenes separados y sumando los volúmenes que pasan a través del medidor [5].

### **1.3.1.3 Medidores de tipo turbina**

Constan básicamente de un rotor con álabes<sup>4</sup>, soportado por un eje y con movimiento de rotación perpendicular a la dirección del flujo, con la ayuda de un detector magnético, cada vez que uno de los álabes pasa delante del mismo se produce un impulso al cortar el campo magnético [5].

## **1.3.2 INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN NO INVASIVOS**

### **1.3.2.1 Medidores de tipo electromagnético**

Su principio de medida está basado en la Ley de Faraday, la cual expresa que al pasar un fluido conductivo a través de un campo magnético, se produce una fuerza electromagnética (F.E.M.), directamente proporcional a la velocidad del mismo, de donde se puede deducir también el caudal [5].

### **1.3.2.2 Medidores de tipo ultrasónico**

Tanto el receptor como el transmisor de ultrasonido se adhieren al exterior del ducto, ambos están ubicados por lo general con un ángulo agudo respecto al eje de la tubería. El tiempo que toma la señal en atravesar la tubería depende de la velocidad del fluido que circula por él [7].

Existen algunos métodos de montaje de los transductores. *El método V* (figura 1.2.a) es considerado estándar para tuberías de 4 a 16" de diámetro; en el *método W* figura 1.2.b la onda de sonido atraviesa el fluido cuatro veces y rebota tres veces en las paredes de la tubería, este método se usa en tuberías menores a 4" de diámetro; en el *método Z* (figura 1.2.c) la señal transmitida sufre menos atenuación que los otros métodos, esto es porque el método Z utiliza una transmisión directa que atraviesa el líquido una sola vez.

---

<sup>4</sup> Los álabes son cada una de las paletas curvas de una turbina o de una rueda hidráulica que reciben el impulso del fluido.

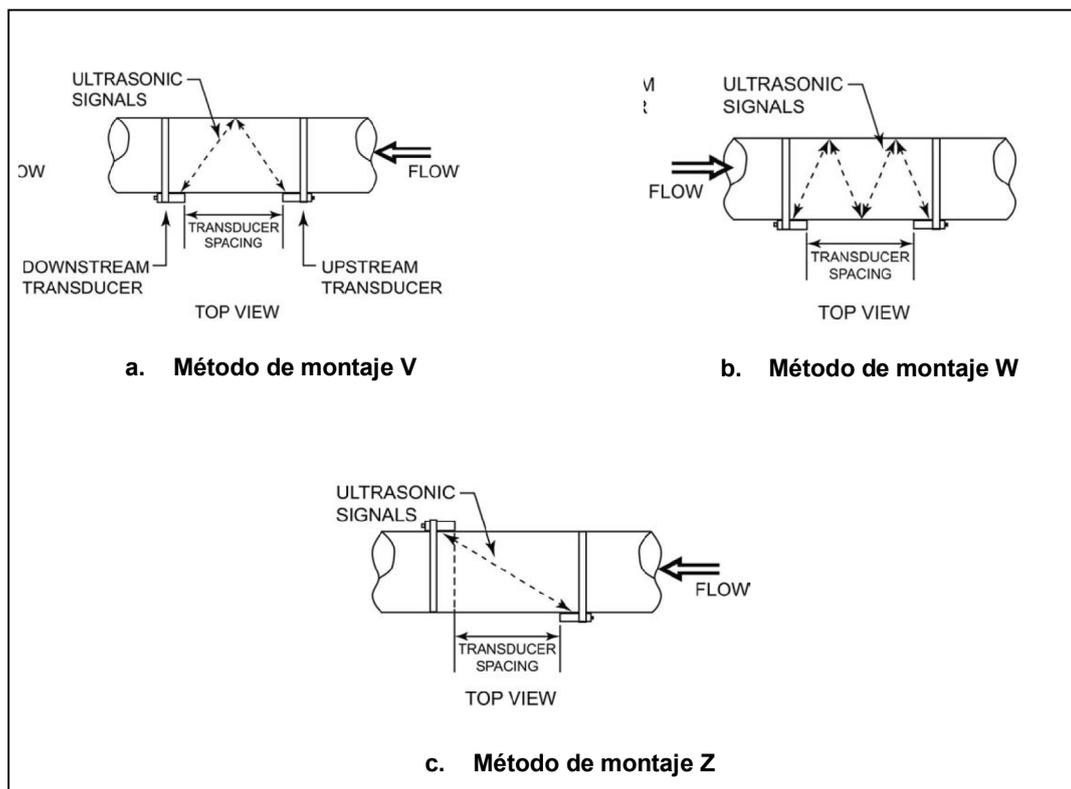
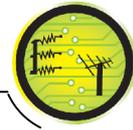


Figura 1.2 Métodos de montaje de los medidores de tipo ultrasónico [8]

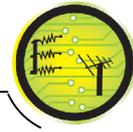
## 1.4 BUCLE DE CORRIENTE Y VOLTAJE

### 1.4.1 COMPARACIÓN ENTRE BUCLES DE CORRIENTE Y VOLTAJE

La mayoría de sistemas de monitoreo y control de procesos están distribuidos en diferentes puntos de la zona de estudio y experimentación, por lo cual, el flujo de información tiene que recorrer grandes distancias, causando a menudo grandes problemas; lograr obtener confiabilidad de la transmisión de datos, ha impulsado muchos esquemas de comunicaciones diferentes y productos asociados a buscar una mejor forma de transmitir la información con las menores pérdidas posibles.

El bucle de corriente es un estándar muy robusto de señalización en sensores [9], lo que lo hace ideal para la transmisión de datos por su inherente insensibilidad al ruido eléctrico. Para lograr un buen diseño de un lazo de corriente de 4-20 mA se tiene que considerar las caídas de voltaje alrededor del lazo. Las caídas de voltaje ocurren en tres lugares: en el conductor, transmisor y resistencia de carga.

- En el conductor la caída de voltaje es directamente proporcional a la corriente que fluye a través de él, dado por la ley de Ohm.



- Dependiendo del transmisor, este consume de 7 a 30VDC del bucle de voltaje, para alimentarse.
- Finalmente el resistor de carga en el controlador, convierte el bucle de corriente en voltaje, para un procesamiento de la señal más fácil. Un valor común de este resistor es  $250\Omega$ . A 4mA, un resistor de  $250\Omega$  tiene una caída de voltaje de 1 voltio y a 20mA se tiene 5 voltios. Este resistor de carga puede ser interno al controlador o externo a este. La norma ANSI/ISA-50.1-1982 (R1992) acerca de la Compatibilidad de Señales Analógicas para Instrumentos Electrónicos en Procesos Industriales, señala que el resistor de carga puede ser  $250\Omega$ , aunque también están aceptados valores desde  $50\Omega$  hasta  $1000\Omega$ .

Si se realiza la transmisión de la información de un transmisor en señal de voltaje, a menos que los dispositivos, que actúan como cargas, tengan impedancias de entrada muy grandes, la transmisión por voltaje produce una disminución de voltaje en el receptor debido al conductor y resistencias conectadas. Sin embargo, los dispositivos de alta impedancia pueden ser muy sensibles a ruido provocado por interferencia sobre los cables de interconexión. La solución a este inconveniente puede ser usar conductores blindados, pero estos incrementan el costo en comparación a un conductor común.

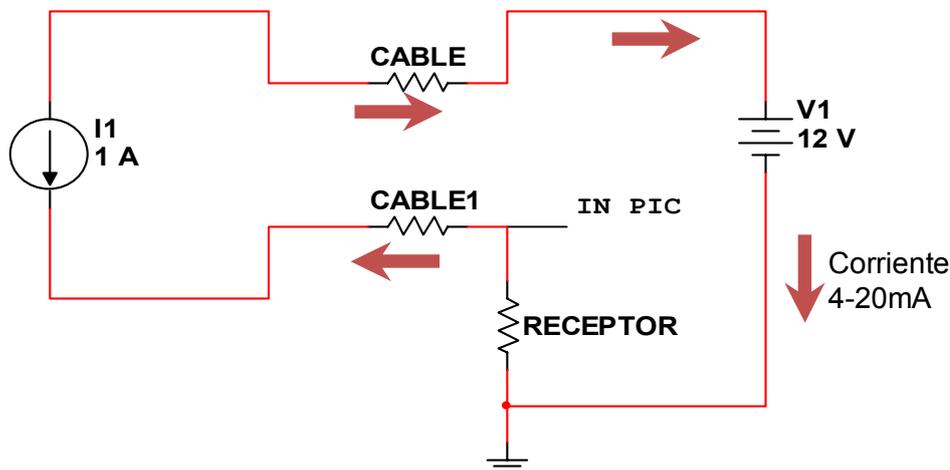
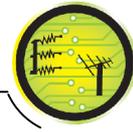


Figura 1.3 Esquema básico de lazo de corriente

El bucle de corriente es inherentemente insensible al ruido eléctrico, ya que el transmisor actúa como una fuente de corriente y ésta atraviesa todos los elementos conectados en serie, manteniéndose “constante” aunque los voltajes de los elementos en serie varíen.



En la figura 1.3, la corriente abastecida por la fuente fluye a través del conductor hasta el transmisor, quien se encarga de regular el flujo de corriente en el bucle. La resistencia de salida del transmisor es alta, en el orden de las unidades de megaohmios, debido a esto, la mayor caída de voltaje de ruido se queda en el transmisor y en el resistor receptor hay solamente una caída mínima [10].

#### 1.4.2 COMPONENTES DEL BUCLE DE CORRIENTE

Un circuito de bucle o lazo de corriente de 4-20 mA, consta de, por lo menos cuatro elementos: un transmisor, una fuente de alimentación para el lazo, un receptor y por supuesto el conductor [11]. Estos componentes se muestran en la figura 1.4.

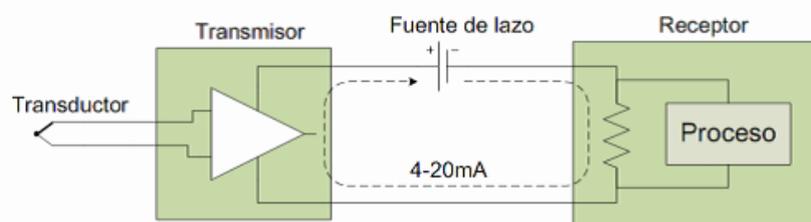


Figura 1.4 Componentes del lazo de corriente [11]

#### 1.4.3 TIPOS DE BUCLES DE CORRIENTE

Muchos sistemas de procesamiento, como por ejemplo los microcontroladores, no poseen entradas analógicas de 4 a 20 mA, de igual manera la mayoría de los sensores disponibles en el mercado se inclinan a tener como salida una señal de corriente debido a que esta posee alta inmunidad al ruido.

Dependiendo de los elementos disponibles para energizar, tanto en el transmisor como en el receptor, se distinguen los siguientes tipos:

##### 1.4.3.1 Tipo 2

Es un transmisor de 2 hilos, donde la salida positiva de la fuente de alimentación debe ser conectada a la terminal positiva del transmisor, la terminal de señal del transmisor a la entrada analógica del receptor y una resistencia de carga es conectada entre la entrada analógica del receptor y tierra, ver figura 1.5. Se considera al transmisor como flotante, ya que la fuente de alimentación se encuentra en el receptor así como la señal de tierra [11].

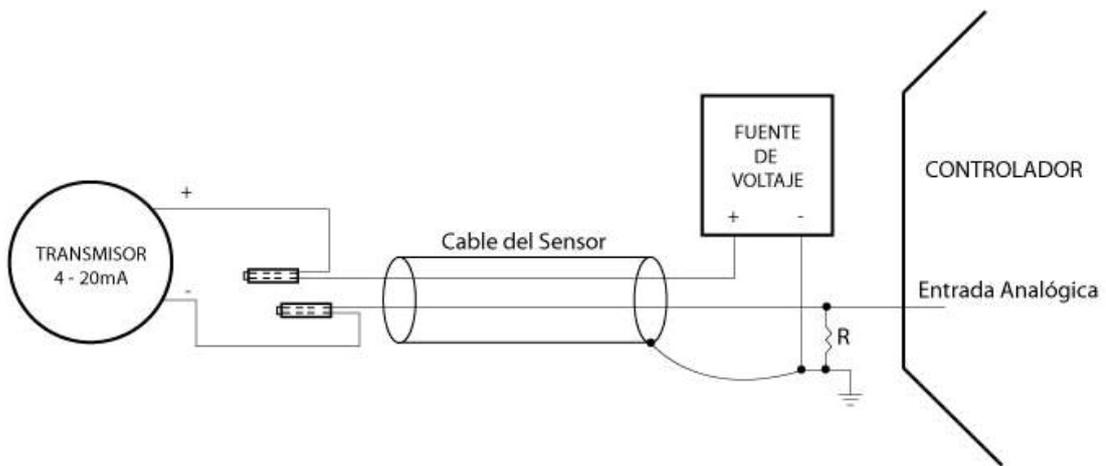
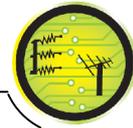


Figura 1.5 Bucle de corriente de 2 hilos con fuente de alimentación externa y resistor externo [9]

### 1.4.3.2 Tipo 3

Un transmisor de 3 hilos consume más corriente del sistema de alimentación que los 20 mA de la señal de corriente, debido a que necesita más corriente para operar. El transmisor se alimenta por un hilo adicional, otro hilo corresponde al lazo de corriente y el tercer hilo es común entre el transmisor, la fuente y el receptor [11], ver figura 1.6.

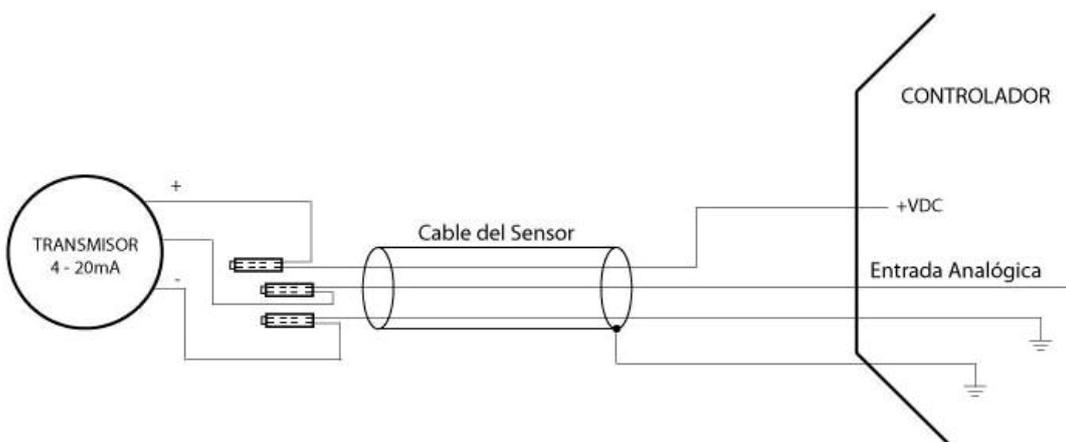
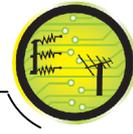


Figura 1.6 Bucle de corriente tipo 3 [9].



## 1.5 RED GPRS

GPRS proviene de las siglas en inglés de General Packet Radio Service, [12] el cual es un servicio no orientado a la conexión, propio de las redes celulares GSM<sup>5</sup> que mejora y simplifica significativamente el acceso a redes de paquetes de datos, es decir, GPRS provee la transmisión de paquetes IP sobre la red celular y la misma estación base celular que da soporte a las llamadas de voz es usada para dar soporte a GPRS.

Está basada en el protocolo de internet (IP) y permite, a los usuarios de la red celular, el acceso a variedad de aplicaciones tales como correo electrónico, contenido web, mensajería instantánea, etc., con tasas de transmisión del orden de los 40Kbps, con lo que los usuarios obtienen una velocidad de acceso similar a módems *dial-up*, pero con la facilidad de poder conectarse desde cualquier lugar que se encuentre dentro de la zona de cobertura.

GPRS está clasificado como una red de conmutación de paquetes, en donde los recursos de radio son utilizados solo cuando los usuarios están enviando o recibiendo datos, es decir, una vez que el usuario inicia la sesión, puede permanecer conectado durante el tiempo que requiera, y a diferencia de GSM que es una red de conmutación por circuitos, en donde el costo de los datos de una llamada está en función del tiempo que se está conectado a la red, con GPRS los costos están en función de la cantidad de datos transmitidos o recibidos y no en el tiempo que se está conectado a la red.

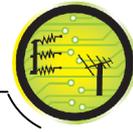
Con GPRS los recursos de radio son utilizados de manera concurrente y son compartidos por varios usuarios, este uso eficiente de los recursos significa que un mayor número de usuarios GPRS pueden compartir el mismo ancho de banda y ser servidos desde una sola estación base [12].

### 1.5.1 ARQUITECTURA DE LA RED GPRS

Para poder entender la arquitectura de la red GPRS, es necesario revisar primero, de manera general, los componentes básicos de los sistemas GSM.

En la figura 1.7 se muestra la arquitectura de un sistema GSM con algunos componentes esenciales. La estación móvil (que para nuestros fines va a ser un módem GSM/GPRS) se denota como MS, una celda o célula está conformada por el área de cobertura del radio de la estación base llamada BTS, pueden existir varias BTS las cuales son controladas por el BSC que es el controlador de estaciones base, la BTS y el BSC juntos se denominan subsistema de estación base o BSS, el tráfico combinado de las estaciones móviles en sus respectivas

<sup>5</sup>GSM es el acrónimo en inglés de Global System for Mobile communications



celdas es dirigido a través de un *switch* en el centro móvil de conmutación o MSC. Las conexiones originadas o terminadas en otra red, como por ejemplo la red pública conmutada o PSTN (ej. la red de la Corporación Nacional de telecomunicaciones, CNT) son manejadas por el *gateway* del centro de conmutación móvil o GMSC.

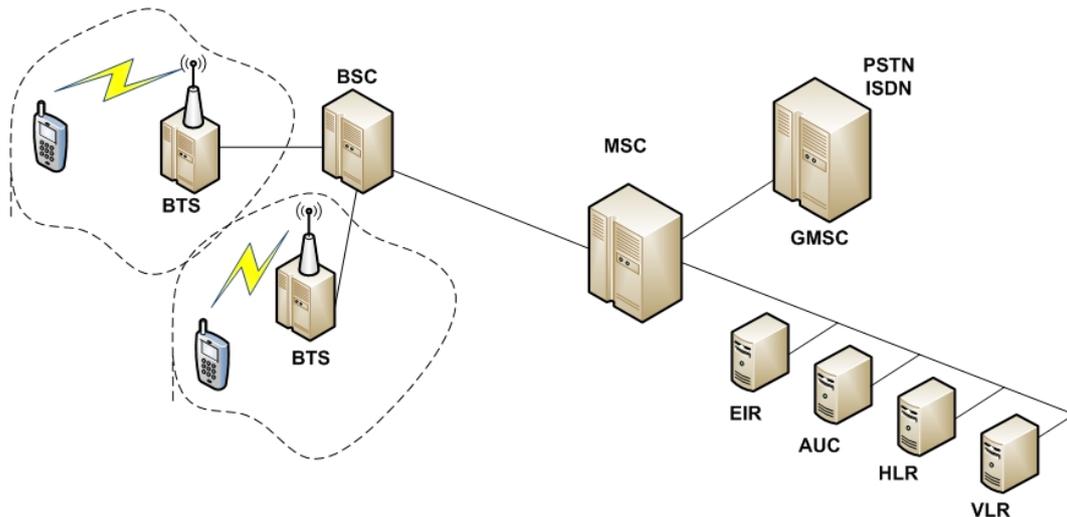


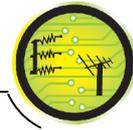
Figura 1.7 Arquitectura de la red GSM

Varias bases de datos están disponibles para el control de las llamadas y administración de la red, entre estos están el HLR (*Home Location Registry*), el VLR (*Visited Location Register*), el AUC (*Authentication Center*) y el EIR (*Equipment Identity Register*) [13].

Para poder integrar GPRS dentro de la arquitectura GSM existente, una nueva clase de nodos de red, llamados Nodos de Soporte GPRS o GSN, deben ser introducidos, ver figura 1.8. Los GSN son los responsables de la entrega y ruteo de los paquetes de datos entre las redes de datos. Existen dos tipos de GSN los SGSN (*Serving GPRS support node*) y los GGSN (*Gateway GPRS support node*) [13].

Los GSN son los encargados de convertir los paquetes GPRS provenientes desde los SGSN en un protocolo de paquete de datos o PDP (*Packet Data Protocol*) apropiado (ej. protocolo IP) y los envía fuera, hacia la correspondiente red; en el sentido contrario, las direcciones PDP de los paquetes de datos entrantes son convertidos en direcciones GSM del usuario destino. La GGSN además realiza funciones de autenticación y tarificación [13].

La SGSN se encarga de monitorear el estado de las estaciones móviles y rastrear su movimiento dentro de un área geográfica específica, también es responsable del



establecimiento y administración de las conexiones de datos entre el usuario móvil y la red de destino.

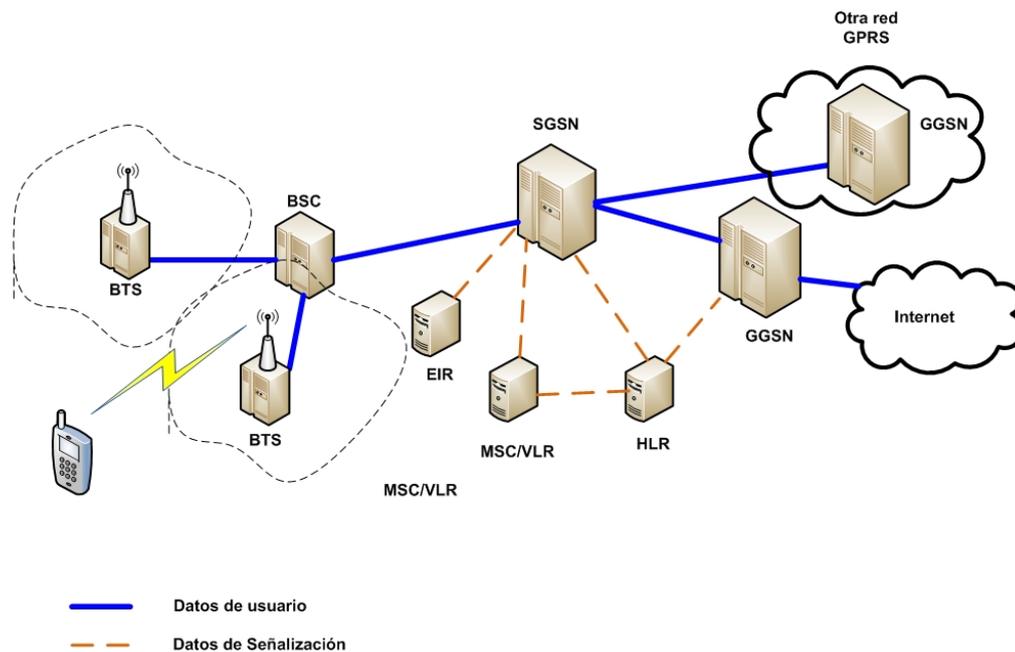


Figura 1.8 Arquitectura de la red GPRS

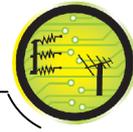
La GGSN provee un punto de unión entre el dominio GPRS del proveedor y la red de datos externa (ej. Internet o intranets corporativas). A Cada red externa le es asignado un único Nombre de Punto de Acceso o APN, el cual es usado por el usuario móvil para el establecimiento de la conexión con la red de destino requerida.

La forma en que el modem GPRS transmite es a través de la red de datos GPRS que es una red propiedad de las operadoras de telefonía móvil que permite el acceso a internet usando la red celular, para poder conectarse con el servidor de datos (que concederá el acceso a internet), es necesario que los módems pasen a través de un *gateway* que en este caso es el APN de la operadora móvil.

Considerando que en la actualidad la red de datos GPRS se encuentra bastante extendida y tiene cobertura tanto en zonas urbanas y rurales, se la eligió como plataforma para transmitir los datos ya que nos permitirá colocar las estaciones en distintos puntos sin perder conectividad.

## 1.6 ESTÁNDARES DE PROTECCIÓN DE EQUIPOS

Los equipos diseñados para trabajar en ambientes hostiles, deben cumplir con ciertos estándares que aseguren su robustez y permitan saber hasta dónde pueden llegar en su utilización. Para saber si un equipo es el adecuado para una aplicación



que funcionará bajo condiciones extremas, es necesario revisar sus especificaciones mecánicas, donde generalmente encontraremos grados IP (*Ingress Protection*) o NEMA (*National Electrical Manufacturers Association*).

	Primer Número Protección contra sólidos:	Segundo Número Protección contra líquidos:
0	Sin Protección.	Sin Protección.
1	De más de 50mm.	Contra gotas de agua que caigan verticalmente.
2	De más de 12mm.	Contra rocíos directos a hasta 15° de la vertical.
3	De más de 2.5mm.	Contra rocíos directos a hasta 60° de la vertical.
4	De más de 1mm.	Contra rocíos directos de todas las direcciones - entrada limitada permitida.
5	Contra polvo - entrada limitada permitida.	Contra chorros de agua a baja presión de todas las direcciones – entrada limitada permitida.
6	Totalmente protegido contra polvo.	Contra fuertes chorros de agua de todas las direcciones - entrada limitada permitida.
7		Contra los efectos de la inmersión de 15cm - 1m.
8		Contra largos periodos de inmersión bajo presión.

**Tabla 1.2 Clasificación del estándar de protección IP**

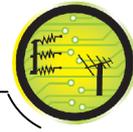
El sistema de clasificación IP proporciona un medio de clasificar el grado de protección de sólidos (como polvo) y líquidos (como agua) que el equipo eléctrico y gabinetes deben reunir [14], ver la tabla 1.2.

Los números IP son frecuentemente indicados en gabinetes, conectores, etc. El tercer dígito, referente a la protección contra impactos mecánicos es generalmente omitido.

Mientras que NEMA es un conjunto de estándares creado, como su nombre lo indica, por la Asociación Nacional de Fabricantes Eléctricos (E.U.), y comprende NEMA 1, 2, 3, 3R, 3S, 4, 4X y 5 al 13 [14].

Los estándares más encontrados en las especificaciones de los equipos, se los detalla en la tabla 1.3.

Tipo	Características
NEMA 4	Sellado contra el agua y polvo. Los gabinetes tipo 4 están diseñados especialmente para su uso en interiores y exteriores, protegiendo el equipo contra salpicaduras de agua, filtraciones de agua, agua que caiga sobre ellos y condensación externa severa. Son



	resistentes al granizo pero no a prueba de granizo (hielo).
<b>NEMA 4X</b>	Sellado contra agua y resistente a la corrosión. Los gabinetes tipo 4X tienen las mismas características que los tipo 4, además de ser resistentes a la corrosión.
<b>NEMA 12</b>	Uso industrial. Un gabinete diseñado para usarse en industrias en las que se desea excluir materiales tales como polvo, pelusa, fibras y filtraciones de aceite o líquido enfriador.

Tabla 1.3 Estándares NEMA más comunes

## 1.7 REGRESIÓN LINEAL POR EL MÉTODO DE LOS MÍNIMOS CUADRADOS

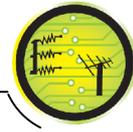
Una regresión lineal consiste en someter el sistema a diferentes condiciones, fijando para ello distintos valores de la variable independiente  $x$ , y anotando en cada caso el correspondiente valor medido para la variable dependiente  $y$ . De este modo se dispone de una serie de puntos  $(x_1, y_1), \dots, (x_n, y_n)$  que, representados gráficamente, deberían ubicarse sobre una línea recta, cuya ecuación lineal es  $y = ax + b$ . Sin embargo, los errores experimentales, siempre presentes, hacen que no se hallen perfectamente alineados, figura 1.9. El método de mínimos cuadrados determina los valores de los parámetros  $a$  y  $b$  de la recta que mejor se ajusta a los datos experimentales, obviando el detalle de las demostraciones matemáticas, las ecuaciones para obtener  $a$  y  $b$  se muestran a continuación [15] :

$$a = \frac{n(\sum x_i y_i) - (\sum x_i)(\sum y_i)}{n(\sum x_i^2) - (\sum x_i)^2} \quad \text{Ecuación 1}$$

$$b = \frac{(\sum y_i) - a(\sum x_i)}{n} \quad \text{Ecuación 2}$$

donde,  $n$  es el número de medidas y  $\Sigma$  representa la suma de todos los datos que se indican.

Los errores en las medidas, se traducirán en errores en los resultados de  $a$  y  $b$ . Se describe a continuación un método para calcular estos errores. En principio, el método de mínimos cuadrados asume que, al fijar las condiciones experimentales, los valores  $y_i$  de la variable dependiente se conocen con precisión absoluta (esto generalmente no es así, pero lo aceptamos como esencial en el método). Sin embargo, las mediciones de la variable  $x$ , irán afectadas de sus errores



correspondientes, si  $\epsilon$  es el valor máximo de todos estos errores [15], entonces se tiene:

$$\Delta a = \frac{\sqrt{n}\epsilon}{\sqrt{n\sum_1^n x_i^2 - (\sum_1^n x_i)^2}} \quad \text{Ecuación 3}$$

$$\Delta b = \frac{\epsilon}{\sqrt{n}} \quad \text{Ecuación 4}$$

La pendiente de la recta se escribirá  $a + \Delta a$ , y la ordenada en el origen  $b + \Delta b$ .

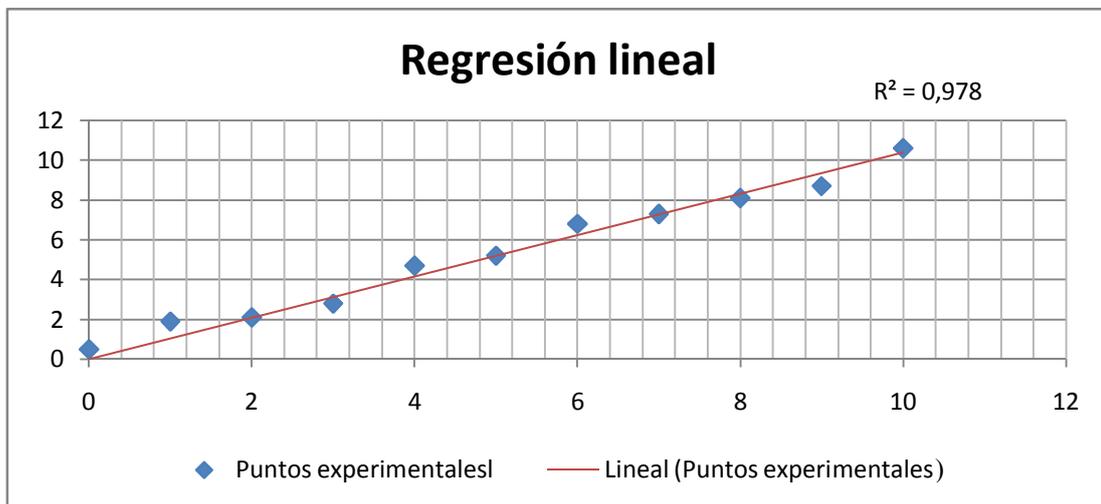
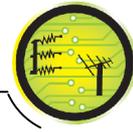


Figura 1.9 Datos medidos con su respectiva regresión lineal

El coeficiente de correlación es otro parámetro para el estudio de una distribución bidimensional, que nos indica el grado de dependencia entre las variables  $x$  e  $y$ . El coeficiente de correlación  $R$  es un número que se obtiene mediante la ecuación 5 [15].

$$R = \frac{n(\sum x_i y_i) - (\sum x_i)(\sum y_i)}{\sqrt{[n(\sum x_i^2) - (\sum x_i)^2][n(\sum y_i^2) - (\sum y_i)^2]}} \quad \text{Ecuación 5}$$

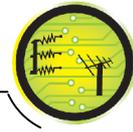


Su valor puede variar entre -1 y 1.

Si  $R = -1$ , todos los puntos se encuentran sobre la recta existiendo una correlación que es perfecta e inversa.

Si  $R = 0$ , no existe ninguna relación entre las variables.

Si  $R = 1$ , todos los puntos se encuentran sobre la recta existiendo una correlación que es perfecta y directa.



## 2. ARQUITECTURA DEL SISTEMA

El sistema está integrado por varios bloques funcionales, figura 2.1. El primer bloque comprende la estación remota a instalarse en los nudos I y IX del campus, el segundo bloque hace referencia a los medios y tecnologías por los que deben trasladarse los datos para ir desde las estaciones remotas a la estación de monitoreo, que constituye el tercer bloque donde se recepta y analiza los datos.



Figura 2.1 Arquitectura general del sistema de monitoreo

### 2.1 ESTACIONES REMOTAS

Las estaciones remotas son las encargadas de digitalizar las señales analógicas entregadas por los instrumentos que miden las variables físicas de presión y caudal del agua en las tuberías, para que el microcontrolador pueda procesarlas, entramarlas y enviarlas al modem GPRS vía comunicación serial RS-232, ver la figura 2.2.

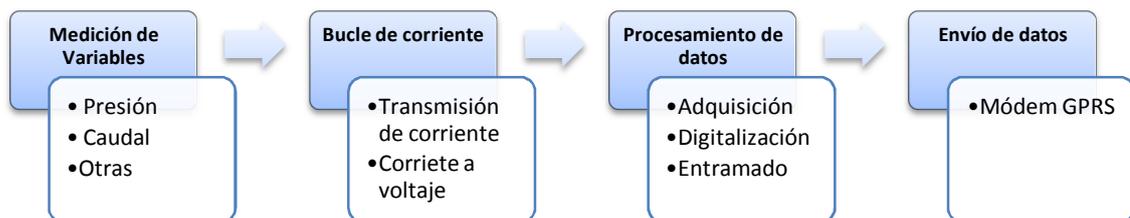
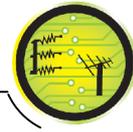


Figura 2.2 Componentes de las estaciones remotas

Las estaciones deben ser pequeñas, para permitir movilidad al administrador del sistema de distribución de agua potable del campus UTPL, en caso de que se necesite realizar medidas en diferentes nudos de control.



Además, las estaciones remotas cumplen con los estándares de protección IP 54 / NEMA 4 para que funcionen adecuadamente en los nudos de control a ser instalados.

### 2.1.1 MEDICIÓN DE VARIABLES

Con el objetivo de optimizar recursos, se utilizan los instrumentos de medición que ya existen en la UCG, que cumplen con las características necesarias para un correcto funcionamiento en cuanto a la medición de las variables de interés en la red de agua potable del campus y entregan como salida una señal de corriente, que tal como se explica en el apartado 1.4, es la mejor opción para lograr confiabilidad en el envío de los datos.

Los transmisores usados para obtener la medida de las variables de presión y caudal son el ECO-1 y el Polysonics DTC7088, respectivamente. Ambos transmisores nos entregan como salida una señal de corriente de 4-20mA de acuerdo a su rango de medición.

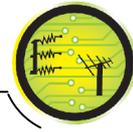
#### 2.1.1.1 Transmisor de presión ECO-1

El ECO-1<sup>6</sup> del fabricante WIKA es un transmisor piezoeléctrico basado en diafragma interno, posee alta precisión, estabilidad a largo plazo y repetibilidad, ver figura 2.3 y tabla 2.1. Además, posee una protección NEMA 4 / IP 67.



Figura 2.3 Transmisor de presión ECO-1

<sup>6</sup> Para ver las características técnicas, referirse al anexo 2 [16].



Característica	Valor
Rango de Presión	0 a 300 psi 0 a 210,9 mca
Presión Máxima	500 psi
Precisión**	≤1 %
Alimentación	10 a 30 V
Salida	4 – 20mA
Tiempo de Respuesta	< 5ms

\*\* La precisión incluye linealidad<sup>7</sup>, histéresis<sup>8</sup> y repetibilidad<sup>9</sup>.

**Tabla 2.1 Características del transmisor de presión ECO-1**

### 2.1.1.2 Transmisor de Caudal Polysonics DCT7088

Polysonics DCT7088<sup>10</sup> del fabricante Thermo Electron Corporation, éste transmisor utiliza una técnica de medición no invasiva basada en ultrasonido y reconfigurable tanto en el tipo y tamaño de tubería, así como en el tipo de fluido, ver figura 2.4 y tabla 2.2.



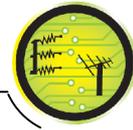
**Figura 2.4 Caudalímetro Polysonics DCT7088**

<sup>7</sup> La linealidad de un transductor se da, si existe una constante de proporcionalidad única que relaciona los incrementos de señal de salida con los correspondientes incrementos de señal de entrada, en todo campo de medida.

<sup>8</sup> La histéresis es la diferencia máxima que se observa en los valores indicados por la señal de salida para el mismo valor cualquiera del campo de medida, cuando la variable recorre la escala en los dos sentidos [5].

<sup>9</sup> La repetibilidad es una característica que indica la capacidad del transductor para entregar la misma lectura en aplicaciones repetidas del mismo valor de la variable medida.

<sup>10</sup> Para ver las características técnicas, referirse al anexo 3 [8].



Característica	Valor
Rango de Flujo	0 a 12 m/s
Exactitud	±0.03 m/s
Sensibilidad	0.3 mm/s
Linealidad	± 0.1 %
Diámetro de la tubería	25mm a 5 m.
Fluido	Líquidos homogéneos sin burbujas gaseosas.
Salida	4 -20mA y Serial RS-232.

Tabla 2.2 Características de caudalímetro Polysonics DCT7088

## 2.1.2 TRANSMISIÓN DE SEÑAL DE CORRIENTE

### 2.1.2.1 Bucle de corriente a utilizar

Considerando las indicaciones hechas por los fabricantes de los transmisores de presión y caudal, para ambos casos se nos presentan dos alternativas para la conexión:

- Para el transmisor de presión ECO-1 se ha escogido el bucle de corriente tipo 2 que nos facilita la instalación, ver figura 2.5.

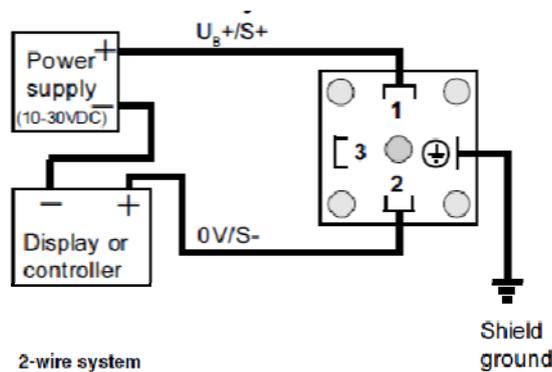


Figura 2.5 Conexión ECO-1 con bucle de corriente

- En el caudalímetro Polysonics DCT7088 para escoger el tipo de bucle de corriente a utilizar, se debe manipular los jumpers (JP1, JP2 y PJ3), con lo que se habilita tipo 2 para “loop powered” y tipo 3 para “self powered”, ver figura 2.6.

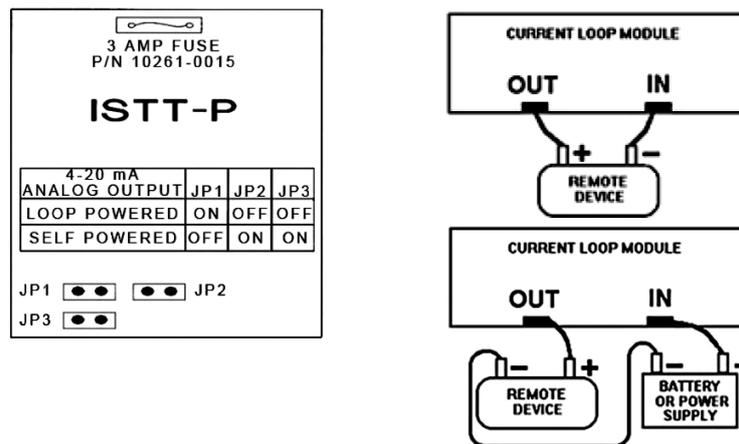
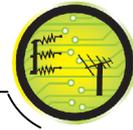


Figura 2.6 Conexión del Caudalímetro con bucle de corriente

### 2.1.2.2 Conversión de señal de corriente

La conversión de la señal de corriente de 4-20 mA a señal de voltaje se realiza utilizando una resistencia variable de  $1K\Omega$ , ajustada en  $250\Omega$ , tal como se describe en el apartado 1.4.1, esta conversión es necesaria debido a la incapacidad del microcontrolador de digitalizar directamente la señal de corriente.

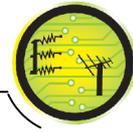
### 2.1.3 PROCESAMIENTO DE DATOS

La adquisición, digitalización y entramado de datos se realiza en el microcontrolador PIC18F2550<sup>11</sup> del fabricante Microchip, que es un circuito integrado programable, en cuyo interior posee la arquitectura básica de un computador, CPU, memoria RAM, memoria EEPROM, circuitos de entrada/salida, un módulo de conversión analógica-digital (ADC) e interfaces de comunicación.

El microcontrolador debe cumplir con las restricciones generales del sistema, en cuanto al bajo costo, bajo consumo de potencia y adaptación al sistema. El PIC 18F2550 puede realizar varias funciones dependiendo de cómo este sea programado, por ejemplo: controlar distintos componentes tales como LCD, displays, diferentes circuitos integrados, puede comunicarse con la PC u otros PICs por diferentes protocolos de comunicación (por ejemplo USB 2.0<sup>12</sup> y/o USART<sup>13</sup>).

<sup>11</sup> Para revisar las características técnicas, referirse al anexo 4 [17].

<sup>12</sup> Acrónimo en inglés de Universal Serial Bus, también conocido como *USB de alta velocidad*, el USB 2.0 es un bus externo que soporta tasas de transferencia de datos de hasta 480Mbps.



Las características principales del PIC 18F2550 se describen en la tabla 2.3. Es muy importante contar con un ADC de 10 bits, con el cual podemos lograr mayor resolución en la conversión, con los 10 canales de entradas A/D podemos leer valores de varios sensores y con la interfaz serial es posible la comunicación con el modem para transmitir los datos hacia la red.

Especificaciones básicas	PIC 18F2550
Frecuencia de operación	DC – 48 MHz
Memoria de programa (bytes)	32768
Memoria de programa (instrucciones)	16384
Memoria de datos (bytes)	2048
Memoria de datos EEPROM (bytes)	256
Interrupciones	19
Puertos I/O	Ports A, B, C
Timers	4
Comunicación serial	MSSP, Enhanced USART
Módulo USB	1
Modulo A/D 10 bits	10 canales de entrada
Comparadores analógicos	2
Set de instrucciones	75 instrucciones; 83 con instrucción ampliada habilitada

**Tabla 2.3 Principales características del PIC 18F2550**

Existen muchas aplicaciones que permiten crear y editar el código fuente para los PICs, en este proyecto utilizamos el MicroCode Studio versión 3.0.0.5; juntamente con el compilador Pic Basic Pro 2.47, que es un lenguaje de programación basado en BASIC para PICs de Microchip, además cuando se utiliza este compilador para los microcontroladores de la serie 18 se debe utilizar el ensamblador de Microchip, MPASM.

Aprovechando el módulo USB del microcontrolador, implementamos un *Bootloader* para programar el PIC sin necesidad de tener que removerlo de la placa de circuito impreso, el software que permite cargar los programas al PIC es el HID Bootloader de Microchip que se muestra en la figura 2.7 y que tal como se observa su uso es muy fácil e intuitivo por lo que no vamos a profundizar en explicar su funcionamiento.

<sup>13</sup> Acrónimo en inglés de Universal Synchronous Asynchronous Receiver Transmitter, es uno de los dos puertos seriales de los que dispone los PICs, puede funcionar de forma síncrona o asíncrona.

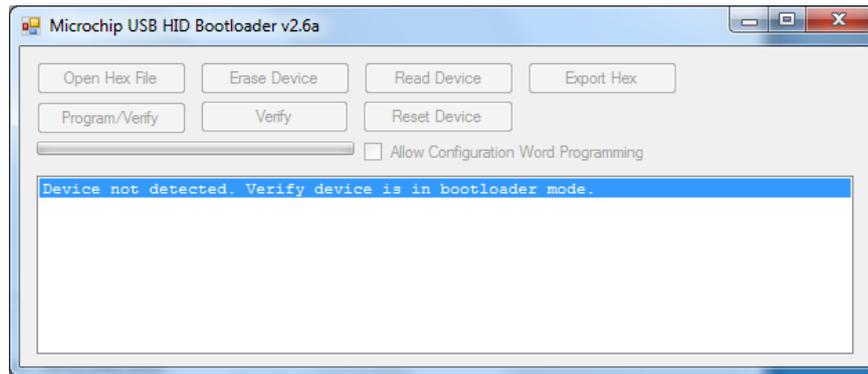
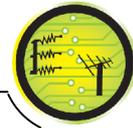


Figura 2.7 Software HID bootloader para cargar el código fuente al microcontrolador

#### 2.1.4 ENVÍO DE DATOS

Las instrucciones del usuario permiten la manipulación de puertos seriales para la recepción y envío de datos, una vez parametrizados correctamente con el software de programación adecuado.

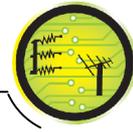
Los datos transmitidos/recibidos pueden estar codificados en diferentes formatos, siendo los más usuales los códigos ASCII y Hexadecimal.

El envío de datos a través de la red GPRS se lo puede realizar de dos formas, la una consiste en hacer funcionar al modem en *modo transparente*, lo cual significa que todo lo que ingrese a través de su puerto serial será enviado a una dirección previamente definida.

La otra forma consiste en enviar al modem los datos que se quieren transmitir junto con un comando, denominado comando AT, que le indique al modem que ese dato debe transmitirse, los comandos y datos a enviar al módem deben ser previamente tratados en registros internos del controlador, hasta formar la secuencia completa "comando AT + parámetro". La mayor ventaja que existe al realizar el envío de datos de esta manera es que si existiera una eventual pérdida de señal, los datos a enviarse no se descartan sino que se almacenan hasta que exista nuevamente conectividad en la red y entonces son enviados, con lo que se asegura que todos los datos leídos por los sensores serán enviados.

El Módem GPRS, recibe los datos del PIC, y junto con una instrucción (también enviada desde el PIC) a través de comunicación serial, envía los datos de forma inalámbrica hacia una estación de monitoreo, que es un computador servidor encargado de centralizar, visualizar y almacenar toda la información adquirida por cada una de los transmisores de las estaciones remotas.

La configuración necesaria para que los módems de las estaciones puedan enviar los datos hacia el servidor, está dada por tres parámetros:



- *Dirección IP*: que debe ser asignada tanto a los módems como al servidor, en el caso de los módems esta dirección es asignada por la operadora de forma dinámica o estática y además es una dirección privada, y mientras que para el servidor ésta dirección tiene que ser pública y estática.
- *Protocolo*: en este caso es TCP, que es un protocolo orientado a la conexión, lo que asegura que los datos no se van a perder.
- *Puerto*: Este tiene que ser configurado tanto en los módems como en el servidor y tiene que ser el mismo de manera que se puede establecer una conexión.

En conjunto estos tres parámetros se los denomina un socket, que es un nombre para una interfaz de programación de aplicaciones (API), necesario para que se pueda intercambiar un flujo de datos de manera fiable y ordenada entre los módems y el servidor.

#### 2.1.4.1 MODEM GPRS SKYPATROL

El SKYPATROL<sup>14</sup> es un modem GSM/GPRS que posee una interfaz serial RS-232, con una alimentación de 7 a 40 VDC, este equipo se lo puede apreciar en la figura 2.8.

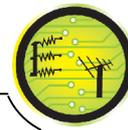


Figura 2.8 Modem SKYPATROL

Las características más importantes de este equipo son las siguientes:

- Bandas de operación: 850/900/1800/1900 Mhz
- Acceso y configuración mediante comandos AT
- 1 conector de audio de 2.5 mm para entrada o salida
- Módulo para tarjeta SIM
- Rango de alimentación de 7 a 40 VDC
- Interfaz serial RS-232
- Protocolos soportados: PPP, AT, UDP, TCP/IP

<sup>14</sup> Para ver el detalle de las características técnicas, referirse al anexo 5 [18].



En cuanto a las características referentes a GPRS se destacan:

- Dispositivo Clase B, con certificación Multislot 10
- Protocolo: GPRS release 97, SMG31
- Codificación: CS1-CS4

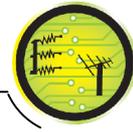
## 2.2 RED DE DATOS

En esta etapa se realiza la función del transporte de los paquetes de información desde los módems hacia el servidor central y su arquitectura física y lógica depende de la operadora de telefonía móvil que se utilice para la comunicación de los componentes del sistema, para esto es necesario que el modem, que es visto por la red como una estación móvil o MS, deba unirse a la red GPRS para poder transmitir los datos obtenidos, este proceso se denomina *GPRS-attach procedure* que significa la unión del dispositivo a la red para aprovechar los servicios que esta brinda, en este caso GPRS.

Para poder habilitar la transferencia de datos, es requerida la activación de un contexto de PDP (Packet Data Protocol), tanto en la estación móvil, el SGSN y el GGSN. Este procedimiento es análogo al proceso de *login ó registro* en una red de destino requerida y se realiza en seis pasos:

- a. Se realiza una petición de registro a través de la MS.
- b. Si la petición es válida, el SGSN envía otra petición que contiene el APN solicitado al servidor DNS (si es que la red tiene uno, caso contrario este parámetro se lo ingresa manualmente)
- c. El servidor DNS usa la información del APN para determinar la dirección IP del GGSN que va a proveer la conectividad requerida hacia la red externa requerida. La dirección IP del GGSN es devuelta al SGSN.
- d. El SGSN usa la dirección IP del GGSN para solicitar una conexión (túnel) al GGSN.
- e. El GGSN acepta el pedido y completa el establecimiento del túnel y devuelve una dirección IP para ser asignada a la estación móvil.
- f. El SGSN envía un mensaje de activación de contexto PDP a la estación móvil. Finalmente el intercambio de paquetes puede comenzar.

El enlace entre el modem y la estación de monitoreo no depende en lo absoluto de nosotros. Consiste en un canal GPRS completamente transparente cuya calidad es garantizada por nuestro proveedor de telefonía celular, quién ofrece una gama de paquetes de datos y una conectividad mayor al 99%.

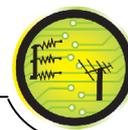


Uno de los factores importantes a considerar es que la estación remota se debe encontrar dentro del área de cobertura de la operadora para poder acceder a los servicios que este provee.

Otro factor muy importante a considerar es la cantidad de tráfico generado por cada estación remota, tomando como referencia que cada estación transmite datos de 4 variables (presión, caudal, y dos entradas genéricas) junto con la fecha y la hora de cada medición, se obtiene una trama de 80 bytes, por petición exclusiva de los técnicos de hidráulica de la UCG, se debe realizar un envío por hora, este envío será el promedio de datos tomados cada diez segundos durante una hora, es decir, se promediarán 360 datos. Tomando en cuenta las 24 horas del día y los 30 días del mes, existe un tráfico máximo de aproximadamente 57600 Bytes (56,25 KB) mensuales por estación.

### **2.3 ESTACIÓN DE MONITOREO**

El servidor central realiza la función de receptar la información enviada por las estaciones remotas y levantar un servicio web de un sistema de información geográfico para que su información se visualice a través de un navegador desde cualquier usuario cliente que quiera monitorear la red. La manera en que el usuario pueda acceder al servidor para visualizar y descargar los datos, es a través de un navegador web. De manera transparente al cliente, existe una aplicación que se encarga de tomar los datos del módem de cada estación y los almacena de manera ordenada en una base de datos (MySQL) para su posterior procesamiento.



### 3. DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN

#### 3.1 MÓDULO DE PROCESAMIENTO DE DATOS

El módulo de procesamiento, tal como se observa en el diagrama de bloques de la figura 3.1, tiene como elemento principal al PIC18F2550, quien es el encargado de coordinar las acciones que realizan cada una de los bloques. Los bloques de alimentación del circuito, voltaje de referencia, cristal externo, pulsadores de programación y reinicio, y, adquisición de datos, establecen comunicación unidireccional hacia el PIC; otro bloque que tiene comunicación unidireccional, pero en este caso, el envío de información se realiza desde el PIC hacia el bloque de LEDs indicadores; con los bloques de reloj en tiempo real, USB e interfaz de comunicación con el módem, se establece una comunicación bidireccional para que interactúen de manera independiente los tres bloques con el PIC.

El circuito completo del módulo de procesamiento, se encuentra detallado en el anexo 6, fue diseñado con la ayuda del software para modelado virtual ISIS, que es parte de la plataforma de diseño y simulación de circuitos, Proteus 7.6.

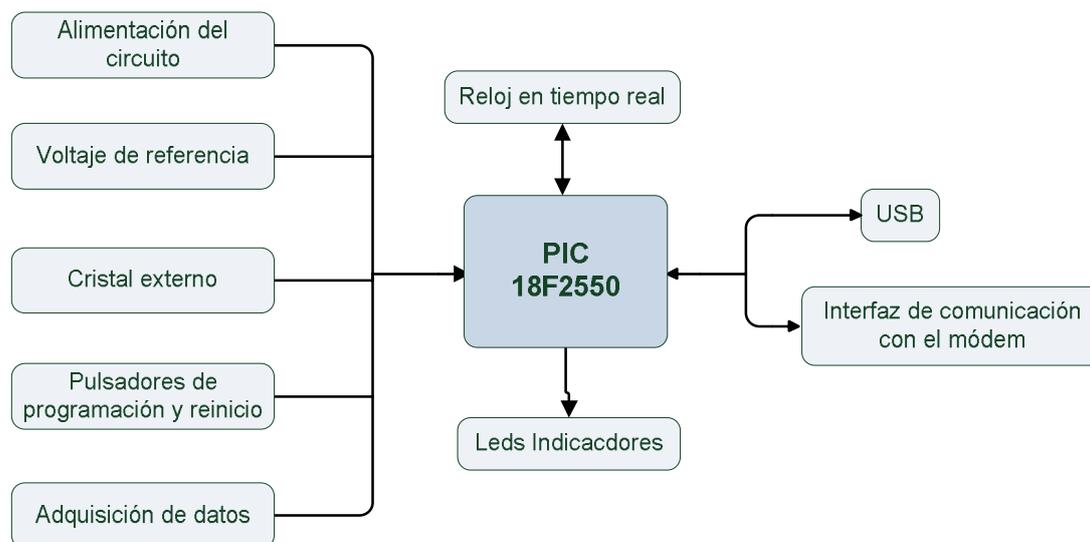
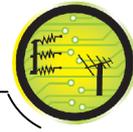


Figura 3.1 Esquema del módulo de procesamiento de datos



### Características:

- Voltaje de alimentación para la fuente: 110 Voltios.
- Voltaje de alimentación para placa madre: 12 Voltios (Transmisores de corriente) – 5 Voltios resto de circuitos incluido microcontrolador.
- 4 Entradas analógicas para conexión de transmisores de corriente.
- Velocidad de procesamiento 48 MHz.
- 1 Salida serial para comunicación con módem GPRS.
- 1 Salida USB para comunicación con PC.

#### 3.1.1 ADQUISICIÓN DE DATOS

Tal como se menciona en el apartado 2.1.2.1, el bucle de corriente para conectar los transmisores al módulo de procesamiento de datos es de tipo 2, por tanto, el módulo se encarga de entregar el voltaje de alimentación a los transmisores y de receptor la señal de corriente emitida por los mismos, en la figura 3.2 se detalla el diagrama de conexión de los transmisores al módulo.

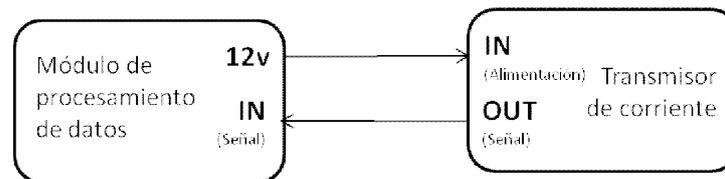


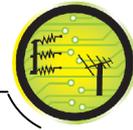
Figura 3.2 Conexión de los transmisores al módulo de procesamiento

Con el fin de permitir la escalabilidad al sistema, se ha considerado cuatro entradas de corriente de 4 a 20 mA, en donde:

- En el *jack* J1 se conecta al transmisor de presión ECO-1
- En el *jack* J2 se conecta al caudalímetro Polysonics DCT7088
- Los *jacks* J3 y J4 son entradas genéricas, en caso que en algún momento se desee obtener la medida de una nueva variable física, como por ejemplo: de cloro residual y/o turbidez del agua.

La corriente que nos entregan los transmisores debe pasar por una resistencia para producir una diferencia de tensión y así poder medir esa señal de voltaje para que el microprocesador la reconozca y realice la conversión analógico-digital.

Si la máxima corriente que circula por el lazo es 20 mA y el voltaje que se desea obtener es 5 V, utilizando la ley de Ohm, se puede encontrar la resistencia R, que en la figura 3.3 equivale a RV1, RV2, RV3 y RV4.



$$V = I * R$$

$$R = \frac{V}{I}$$

$$R = \frac{5 V}{20 mA}$$

$$R = 250\Omega$$

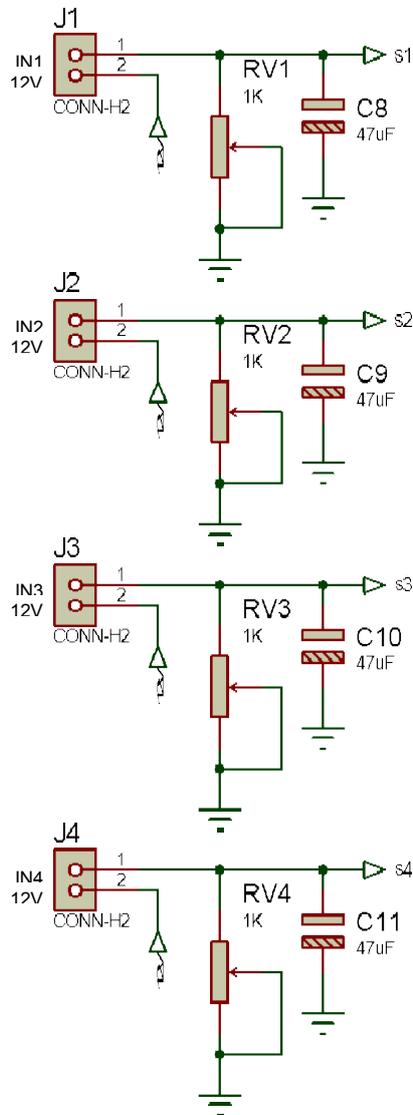
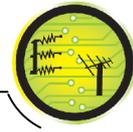


Figura 3.3 Esquema de conversión de señal de corriente a voltaje



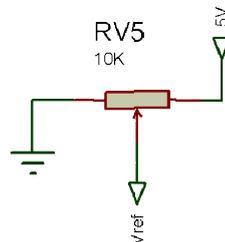
El valor de la resistencia debe ser lo más exacto posible para disminuir considerablemente los errores en la medición, por lo tanto, se utilizará potenciómetros variables de precisión en lugar de resistencias normales.

Y ahora, con el valor de la resistencia encontrado, se calcula el voltaje que se debe obtener cuando la corriente tenga su valor mínimo de 4mA.

$$V_{min} = 4mA * 250\Omega \quad \text{Ecuación 7}$$

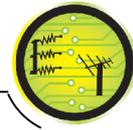
$$V_{min} = 1V$$

Para aprovechar al máximo los 10 bits del módulo convertidor A/D del microcontrolador, se va a utilizar los voltajes de referencia ( $V_{ref-}$  y  $V_{ref+}$ ) correspondientes a los pines 4 y 5 del PIC, ver figura 3.3. El voltaje de referencia positivo está directamente conectado a 5V y el voltaje de referencia negativo es ajustable, figura 3.4, debido a que los transmisores parten de una corriente de 4 mA cuando no existe presión y/o caudal a su entrada y el voltaje de referencia negativo permite que la conversión comience desde ese valor de corriente.



**Figura 3.4 Circuito voltaje de referencia negativo**

Cabe destacar, que en el circuito, figura 3.3, para disminuir las variaciones de voltaje producidas por el transmisor debido a su alta sensibilidad a los cambios de las variables que registra, se ha añadido los capacitores C8, C9, C10 y C11.



### 3.1.2 OSCILADOR EXTERNO

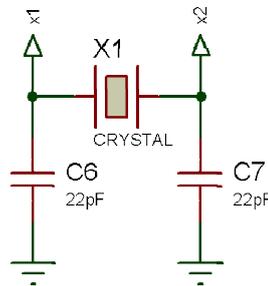
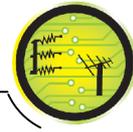


Figura 3.5 Circuito del oscilador externo

El PIC18F2550 puede funcionar en cuatro diferentes modos de oscilador: *low-power cristal* (LP), *crystal/resonator* (XT), *High speed cristal/resonator* (HS) y *resistor/capacitor* (RC). Los tres modos LP, XT y HS usan un cristal o resonador externo, la diferencia es la ganancia de los drivers internos, lo cual se ve reflejado en el rango de frecuencia admitido y la potencia consumida. En la tabla 3.1 se muestran los rangos de frecuencia así como los capacitores recomendados para un oscilador a base de cristal, ver figura 3.5. El cristal es parte fundamental del microcontrolador porque es el encargado de darle una señal de reloj para su correcto funcionamiento.

Modo	Frecuencia típica	Capacitores recomendados	
		C6	C7
LP	32 kHz	68 a 100 pF	68 a 100 pF
	200 kHz	15 a 30 pF	15 a 30 pF
XT	100 kHz	68 a 150 pF	150 a 200 pF
	2 MHz	15 a 30 pF	15 a 30 pF
	4 MHz	15 a 30 pF	15 a 30 pF
HS	8 MHz	15 a 30 pF	15 a 30 pF
	10 MHz	15 a 30 pF	15 a 30 pF
	20 MHz	15 a 30 pF	15 a 30 pF

Tabla 3.1 Capacitores recomendados para varias frecuencias



### 3.1.3 ALIMENTACIÓN DEL CIRCUITO

Todo la estación de monitoreo se alimenta a través de una fuente de 110VAC, que por medio de un transformador y una etapa de regulación se reduce a 12VDC, ver figura 3.6.



Figura 3.6 Esquema en cascada para alimentación del circuito

Al pin 1 del *jack*J5 llega la alimentación de una fuente de 12V, la que se distribuye directamente para alimentar los transmisores de corriente que se conectan en los *jacks* J1, J2, J3 y J4 de la figura 3.3; además se utiliza un circuito integrado regulador LM7805, U3 de la figura 3.7, para reducir el voltaje a 5V y los condensadores C12 y C13 protegen el circuito de posible ruido e interferencia que podrían afectarlo y además funcionan como capacitores de *by-pass* para eliminar posibles componentes en AC de la señal

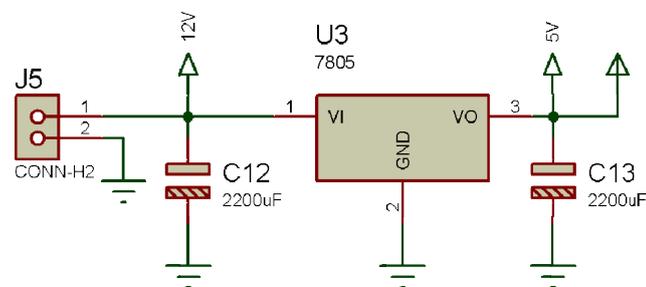


Figura 3.7 Circuito de alimentación

### 3.1.4 LEDs INDICADORES

Se ha incluido en el circuito dos LEDs<sup>15</sup>, que nos sirven para identificar si el módulo está siendo alimentado por la fuente de voltaje, D1; para identificar el instante en que el módulo está adquiriendo datos de los transmisores, D2; y para indicar cuando el microcontrolador está enviando los datos hacia el módem, D4, de la

<sup>15</sup>Acrónimo en inglés de Light Emitting Diode, Diodo emisor de luz

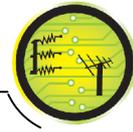


figura 3.8. Los LEDs deben ir ubicados en la parte exterior de la caja, es por esto que ubicamos los conectores ON, LED1 y LED2 para poder conectar los LEDs con la PCB.

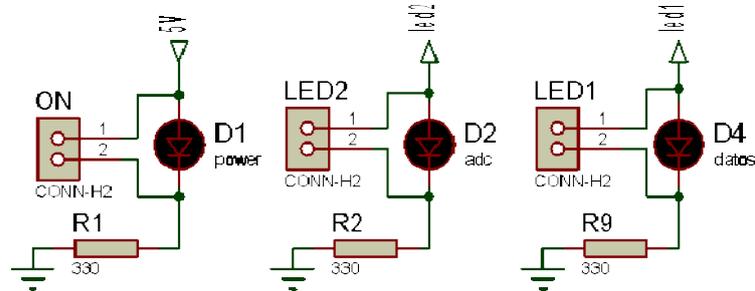


Figura 3.8 Circuito de leds indicadores

### 3.1.5 INTERFAZ DE COMUNICACIÓN PIC-MODEM

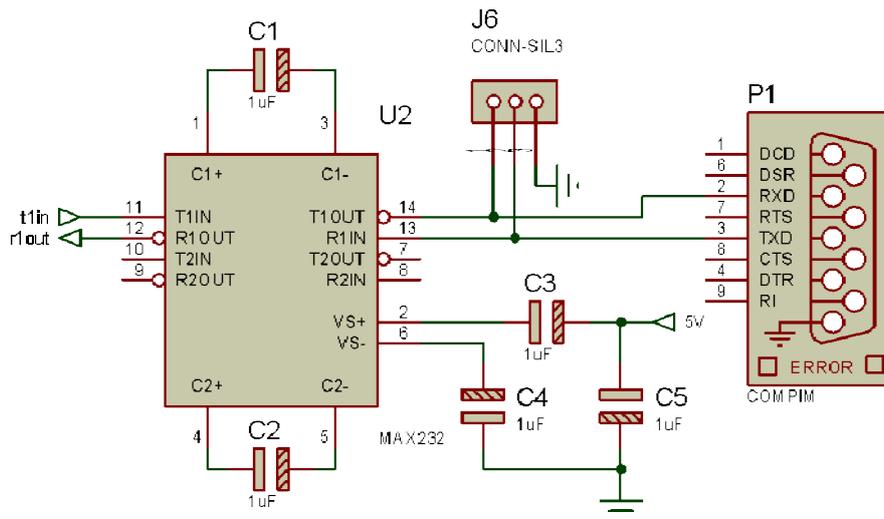
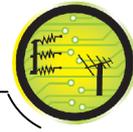


Figura 3.9 Circuito de la interfaz de comunicación PIC-Módem

Aprovechando que el módulo USART del PIC soporta el protocolo RS-232, que es compatible con la mayoría de módems GPRS, se va a utilizar un integrado MAX232<sup>16</sup>, U2 de la figura 3.9, para adaptar los niveles de RS-232 a niveles TTL<sup>17</sup> que maneja el PIC y viceversa. Debido a que los niveles de voltaje en el estándar RS-232 son 15V para un 0 lógico TTL y -15V para un 1 lógico TTL.

<sup>16</sup> Para revisar las características técnicas, referirse al anexo 7 [19].

<sup>17</sup>Es el acrónimo en inglés de Transistor-transistor logic, es decir, lógica transistor a transistor.



El circuito integrado MAX-232 permite adaptar los niveles lógicos con la ayuda de condensadores que elevan el voltaje utilizando la misma alimentación de 5V.

### 3.1.6 RELOJ EN TIEMPO REAL

Debido a la necesidad del sistema de registrar cada valor medido junto con la hora y la fecha en la cual fue tomado el dato, recurrimos al circuito integrado DS1307<sup>18</sup>, el cual es un reloj/calendario decimal de codificación binaria (BCD), el cual se comunica con el PIC a través de un bus de comunicación bidireccional serial de dos hilos (I2C), ver figura 3.10. Este RTC o reloj en tiempo real, provee un contador con segundos, minutos, horas, día, número de día, mes y año. El final de mes es automáticamente ajustado para meses con menos de 31 días, y además incluye correcciones para año bisiesto hasta el año 2100. Además, el circuito del RTC cuenta con una batería de litio de 3V lo cual garantiza el correcto funcionamiento del reloj durante un lapso de diez años, con esto nos aseguramos de que siempre vamos a contar con la hora y fecha precisa.

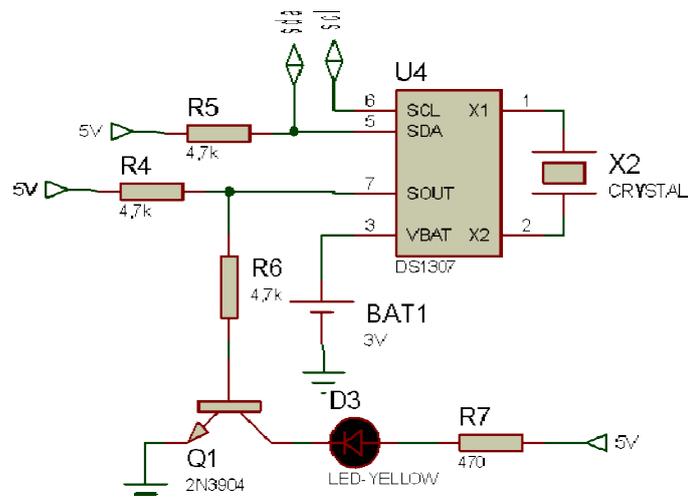
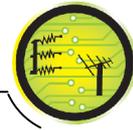


Figura 3.10 Circuito del reloj en tiempo real

### 3.1.7 CARGADOR DE ARRANQUE (BOOTLOADER)

La capacidad de autoprogramación que tiene la memoria Flash del microcontrolador nos permite actualizar el firmware a través del USB, específicamente mediante HID (Dispositivos de Interfaz Humana). Esto evita tener que retirar el microcontrolador

<sup>18</sup> Para ver las características técnicas, referirse al anexo 8 [20].



del módulo de procesamiento cada vez que queramos programarlo y provocar posibles daños en los pines cuando lo intentemos colocar nuevamente.

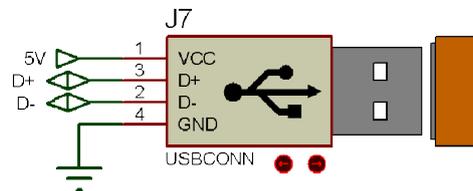


Figura 3.11 Circuito de conexión microcontrolador con el puerto USB

Microchip USB Application Design Center nos ofrece gratuitamente el software Microchip USB HIDBootloader v2.6 que no requiere instalación del controlador y está destinado a ser utilizado con todos los microcontroladores de Microchip USB Flash, en los que está incluido el 18F2550.

En el PIC18F2550, el firmware del bootloader reside en la memoria del programa en el rango de direcciones 0x00-0xFFFF, por tanto, la dirección el vector de reset es la 0x1000, es decir, cualquier programa que se cargue a través del bootloader empezará a residir desde esta dirección de memoria. Este firmware también nos lo facilita Microchip, aunque se le modificó algunos parámetros para adaptarlo a nuestras necesidades.

Para ingresar al firmware del bootloader (modo programación del PIC), en el módulo de procesamiento se ubicó además del botón de RESET (B1) un botón para programar (B2), ver figura 3.12. El acceso lo podemos hacer de dos maneras:

- Tener presionado el pulsador B2 y conectar el cable USB al computador.
- Tener presionado el pulsador B1 y presionar el B2, luego soltarlos en el mismo orden, si el cable ya está conectado.

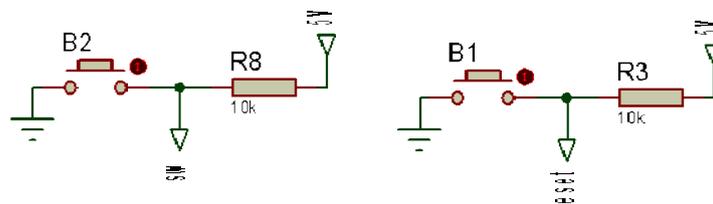
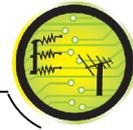


Figura 3.12 Botones de reinicio y programación



Al conectar la estación de monitoreo al USB del computador aparece un dispositivo de interfaz humana (HID), es decir nuestra estación es reconocida y el software de identificación automáticamente se instala, ver figura 3.13.

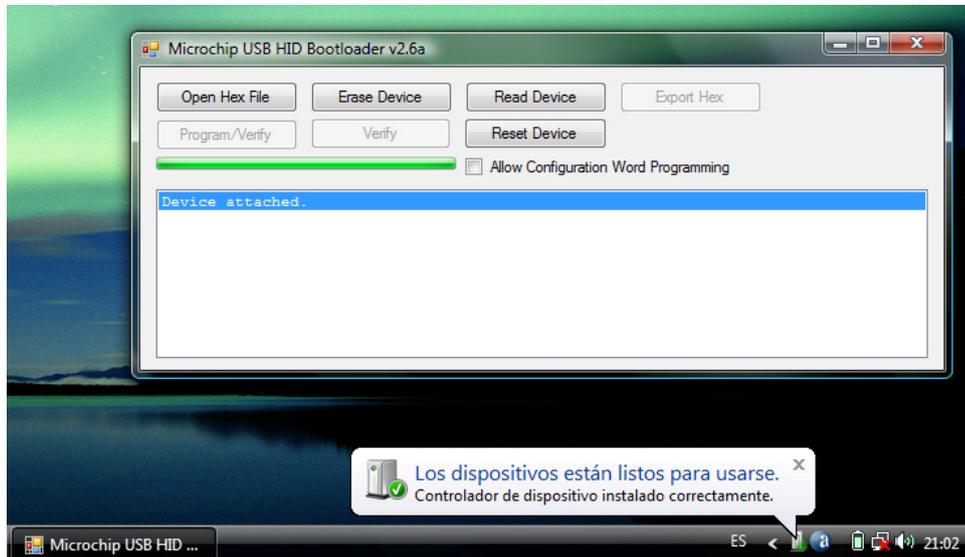
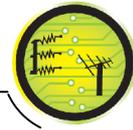


Figura 3.13 Captura de pantalla del Bootloader



3.1.8 PROGRAMA PARA PIC 18F2550

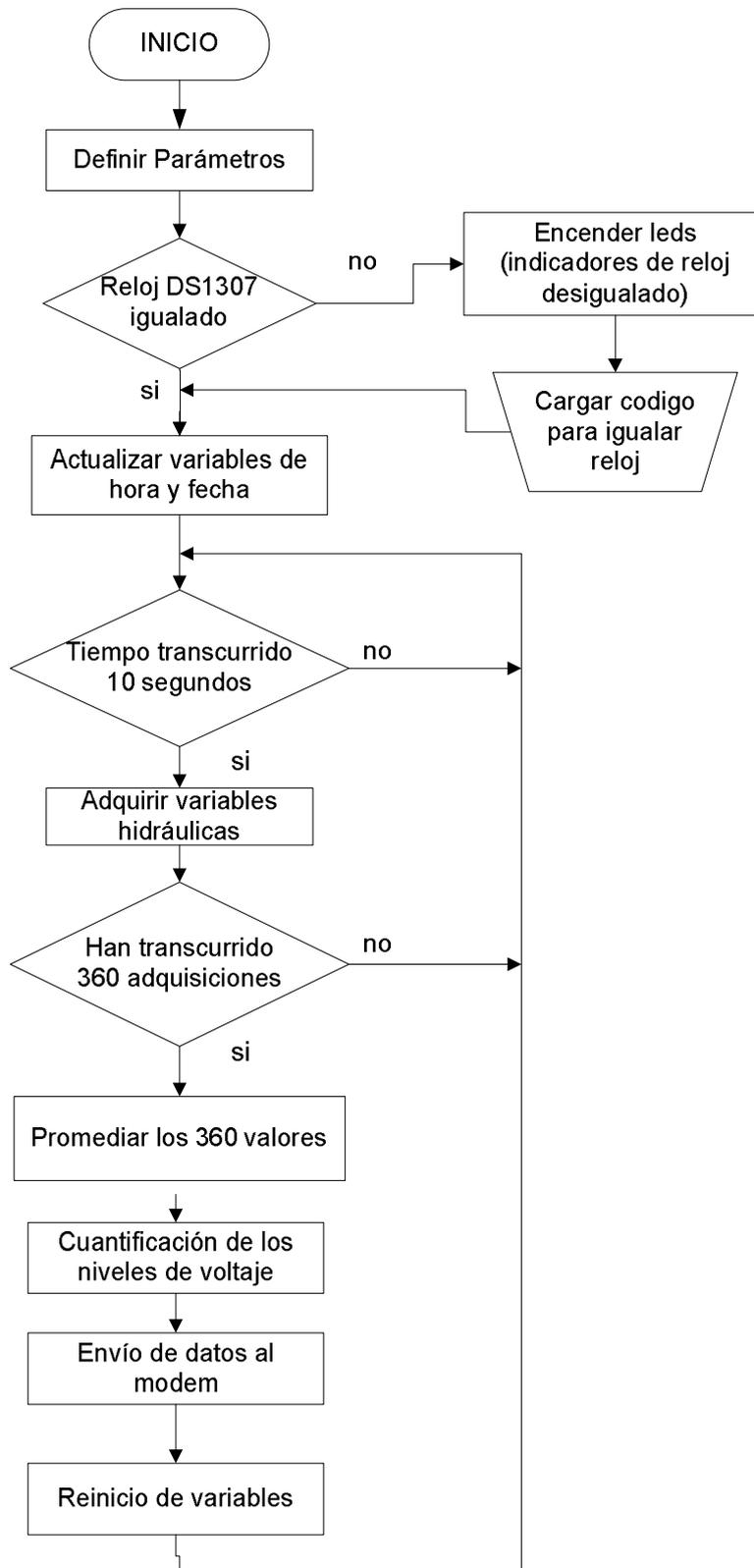
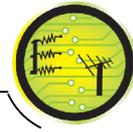


Figura3.14 Diagrama de flujo del programa para el PIC



En la figura 3.14, se muestra el diagrama de flujo que explica, de forma general, las instrucciones que el PIC 18F2550 del módulo de procesamiento de datos debe seguir<sup>19</sup>.

Debemos comenzar definiendo los parámetros en los cuales se basa el funcionamiento del microcontrolador, los cuales son:

- Incluir las librerías a utilizarse en el programa.
- Definir la frecuencia de operación, que debe ser igual a la frecuencia del cristal que estamos utilizando en el módulo.
- Definir que se está haciendo uso del bootloader.
- Definir si se va a utilizar el módulo A/D con 8 ó 10 bits de resolución.
- Definir el tiempo de muestreo para el módulo A/D.
- Definir puerto I2C, para comunicación con el reloj en tiempo real DS1307.
- Crear las variables a utilizar en todo el programa.
- Inicializar las variables en un valor por defecto, para nuestro caso cero, excepto las variables que almacenarán la fecha y hora.

Debido a la necesidad de que al momento de adquirir los datos de los transmisores también registremos la hora de adquisición de los mismos, en nuestro programa consultamos la hora cada 500ms al DS1307 para poder contabilizar la fecha y la hora.

Cabe señalar que para poder realizar la igualación del reloj, se debe cargar al PIC un programa<sup>20</sup> indicando todas las variables, tales como: año, mes, día del mes, día de la semana, hora, minuto y segundo, con la finalidad de que los contadores empiecen igualados. Este procedimiento se lo debe hacer la primera vez que se inicia el programa o cada vez que se termine la batería del reloj.

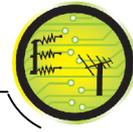
Previo al envío de los datos, se deberá realizar un promedio de varias mediciones, en nuestro caso se promediarán 360 valores, tomados cada diez segundos en un lapso de una hora.

El microcontrolador recibirá los valores convertidos de corriente a voltaje, utilizando el módulo ADC de 10 bits tendremos 1024 combinaciones binarias, que equivalen a los números desde el 0000000000 (0 decimal) hasta el 1111111111 (1023 decimal).

En la cuantificación de los 1024 niveles a valores correspondientes a las variables físicas medidas hay que definir su valor equivalente, para ello es necesario convertir los niveles de las entradas en las unidades físicas requeridas ya sea presión (mca) o caudal (lt/s). A continuación se muestra la ecuación que nos permite obtener los valores de corriente:

<sup>19</sup>Para ver el detalle del código fuente principal, referirse al anexo 9.

<sup>20</sup> Para ver el detalle del código fuente para igualar el reloj, referirse al anexo 10.



$$Resolución = \frac{Valor_{max} - Valor_{min}}{2^N \text{ bits} - 1}$$

$$Res_{corriente} = \frac{20mA - 4mA}{1023 \text{ niveles}}$$

$$Res_{corriente} = \frac{0,015625mA}{nivel}$$

Teniendo todas las señales de corriente digitalizadas, procedemos a encontrar el factor multiplicativo para obtener la presión y caudal en los canales 1 y 2 respectivamente.

El máximo valor de presión que se puede medir es 211,04 mca (300 psi) y el mínimo 0 mca, por lo que el factor es:

$$Factor_{presión} = \frac{211,04mca - 0mca}{1023 \text{ niveles}}$$

$$Factor_{presión} = 0,206152mca/nivel$$

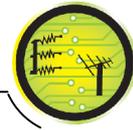
El mismo caso sucede en los valores de caudal, en donde el caudal máximo que circula por las tuberías de agua es 5 lt/s y el mínimo 0 lt/s.

$$Res_{caudal} = \frac{5 \text{ lt/s} - 0 \text{ lt/s}}{1023 \text{ niveles}}$$

$$Res_{caudal} = 0,004882 \text{ lt/s por cada nivel}$$

Para el caso de las dos entradas genéricas, como ya se conoce, los valores máximos y mínimos de corriente son 20 y 4 mA respectivamente.

$$Res_{otros} = \frac{20mA - 4mA}{1023 \text{ niveles}}$$



$$Res_{otros} = \frac{0,015625mA}{nivel}$$

En la tabla 3.2 se muestra algunos de los niveles con sus correspondientes valores de las variables físicas.

Para el envío de datos, se debe configurar el módem GPRS tal como se indica en el apartado 3.2.

Niveles	Presión (mca)	Caudal (lt/s)	Entradas genéricas (mA)
	res=0,2061	res=0,0049	res=0,0156
0	0,0000	0	0
1	0,2061	0,0049	4,0156
7	1,4427	0,0343	4,1093
15	3,0915	0,0735	4,2343
31	6,3891	0,1519	4,4843
63	12,9843	0,3087	4,9843
127	26,1747	0,6223	5,9843
511	105,3171	2,5039	11,9843
1023	210,8403	5,0127	19,9843

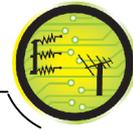
Tabla 3.2 Cuantificación de las entradas al nivel correspondiente

La trama que se envía desde el PIC hacia el módem, para que éste se encargue de enviarla a la estación de monitoreo, está conformada por valores decimales que indican la fecha, hora, dato promedio y dato instantáneo de cada una de las variables físicas medidas, ver figura 3.15.

#	Etiqueta estación	Día de la semana	Año	Mes	Día del mes	hora	minuto	segundo	Presión promedio	Presión instantánea	Caudal promedio	Caudal instantáneo	Ent. Gen. 1 promedio	Ent. Gen. 1 instantánea	Ent. Gen. 2 promedio	Ent. Gen. 2 instantáneo	#
Inicio	Datos															Fin	

Figura 3.15 Trama a ser enviada a la estación de monitoreo

En la tabla 3.3 se describe el contenido de la trama, indicando el rango y la relación de cada número decimal con su variable.



Variable	Valor decimal
Etiqueta	ERn Donde n equivale al número de estación remota
Día semana	1 a 7 Correspondiente a cada uno de los días de Domingo a Sábado
Año	0 a 99 Correspondiente a los años 2000 – 2099
Mes	1 a 12 Correspondiente a cada uno de los meses desde enero hasta diciembre
Día mes	1 a 31 Correspondiente a cada día del mes
Hora	0 a 23
Minuto	0 a 59
Segundos	0 a 59
Presión	0 a 211,04 mca (metros de columna de agua)
Caudal	0 a $5^{lt}/_s$ (litros por segundo)
Entradas genéricas 1 y 2	4 a 20 Correspondientes a valor en mA (mili amperios)

Tabla 3.3 Descripción del contenido de la trama

### 3.1.9 CIRCUITO IMPRESO

Para la elaboración de los diagramas de circuito impreso del módulo de procesamiento, recurrimos al segundo software de Proteus, ARES, en el cual se realiza la distribución de los elementos y el ruteo de los circuitos en la placa, ver figura 3.16.

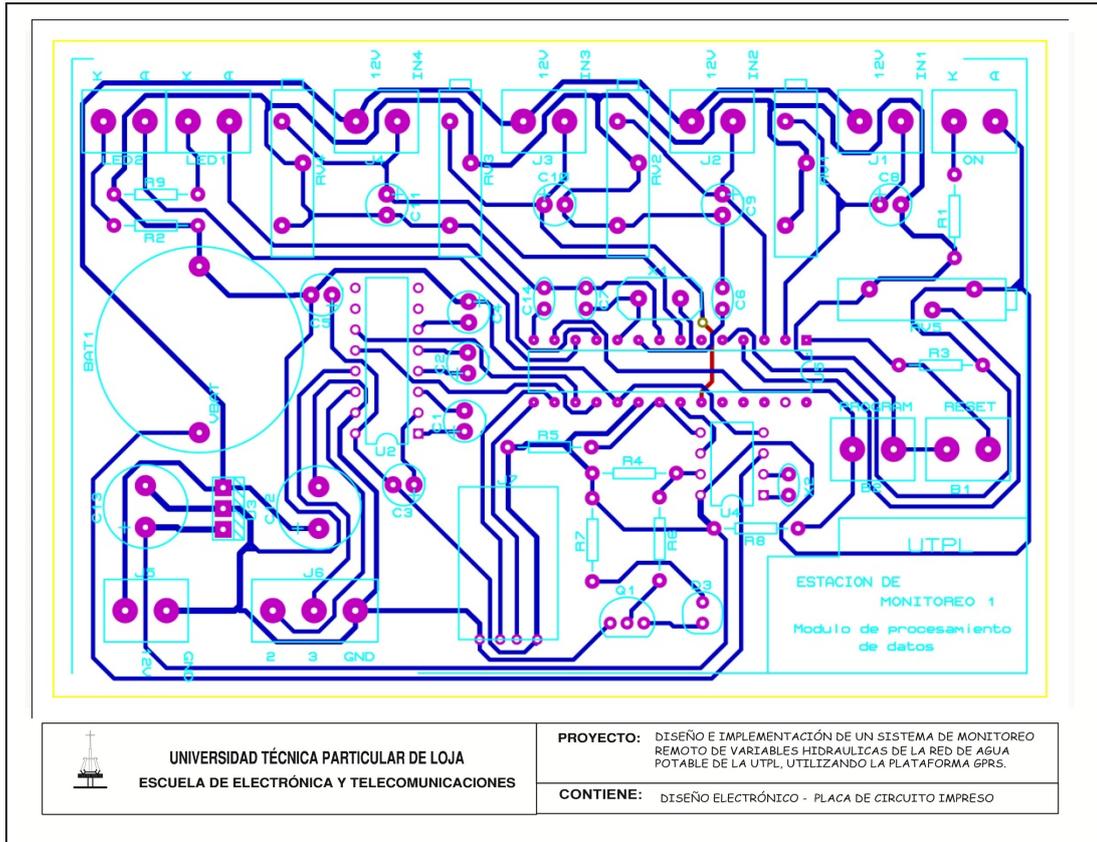
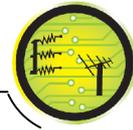


Figura 3.16 Placa impresa del módulo de procesamiento

Con la ayuda del mismo software se puede generar una vista previa en 3D, del circuito impreso con sus componentes, ver figura 3.17.

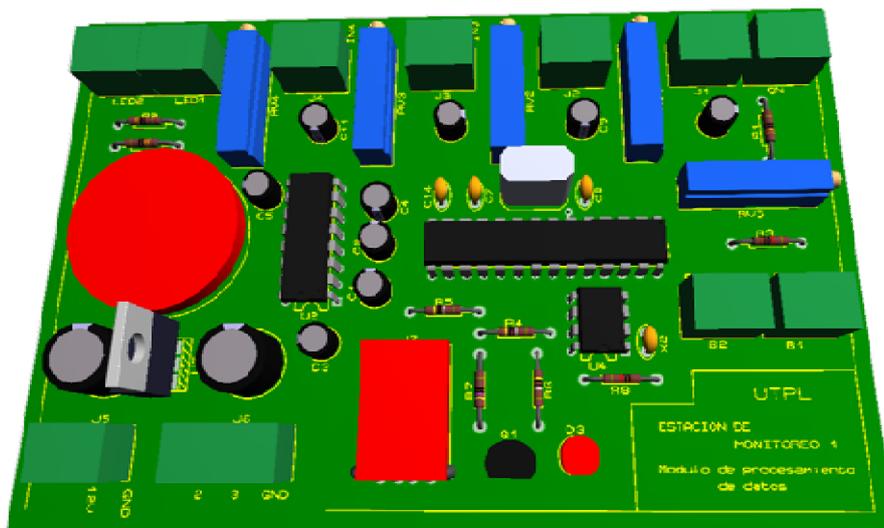
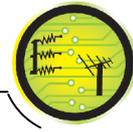


Figura 3.17 Vista en 3D del módulo de procesamiento



Los elementos que conforman el módulo de procesamiento se detallan en la tabla 3.4.

Descripción	Nombre PCB	Valor
Capacitor electrolítico	C1, C2, C3, C4, C5	1 uF
	C8, C9, C10, C11	47uF
	C12, C13	2200 uF
Capacitor cerámico	C6, C7	22pF
	C14	1 nF
Resistencia variable de precisión	RV1, RV2, RV3, RV4	1 KΩ
	RV5	10KΩ
Resistencias	R1, R2, R9	330 Ω
	R3, R8	10 KΩ
	R4, R5, R6	4,7 KΩ
	R7	470 Ω
Led	D1, D2, D3, D4	Rojo , amarillo y verde
Circuito integrado	U1	PIC 18F2550
	U2	MAX 232
	U3	LM 7805
	U4	DS1307
Cristal	X1	20 MHz
	X2	32768 Hz
Borneras	J1, J2, J3, J4, J5, ON, LED1, LED2	2 pines
	J6	3 pines
Conector	J7	USB tipo B macho
Pulsador	B1, B2	2 pines
Batería	BAT1	CR2032
Transistor	Q1	2N3904

Tabla 3.4 Lista de componentes del módulo de procesamiento

## 3.2 ESTACIÓN REMOTA

Una vez que ya se ha construido la placa de circuito impreso, figura 3.18, procedemos a ubicarla en la caja, juntamente con el módem, la fuente de voltaje y el cableado respectivo, figura 3.19.

En la figura 3.20, se muestra una vista general de la estación remota ya terminada, y en la figura 3.21, se observa la parte frontal de la estación donde están los tres LEDs indicadores y los cuatro conectores para las entradas analógicas.

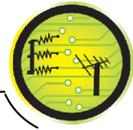


Figura 3.18 Placa de circuito impreso implementada

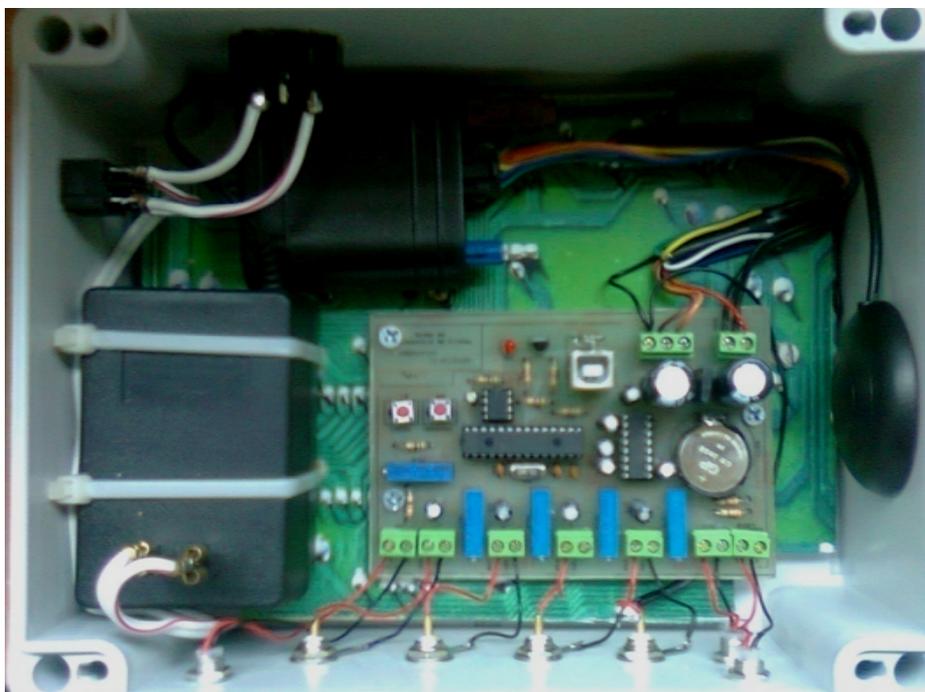


Figura 3.19 Distribución de elementos en la caja

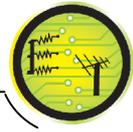
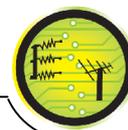


Figura 3.20 Vista general de la estación remota



Figura 3.21 Vista frontal de la estación remota



### 3.3 CONFIGURACIÓN DEL MODEM SKYPATROL

Para el correcto funcionamiento del sistema, el módem debe estar en capacidad de comunicarse tanto con el PIC (para poder leer los datos obtenidos por los transmisores), así como con la red de datos de la operadora móvil (para poder enviar los datos a través de internet hacia el servidor central), para esto, es necesario configurar algunos parámetros dentro del módem que permitan a este operar del modo deseado.

#### 3.3.1 CONFIGURACIÓN DE LA INTERFAZ SERIAL RS-232

Esta configuración va a determinar el número de bits de datos, bits de paridad y bits de parada que se va a tener en la comunicación, como es normal se va a utilizar el formato estándar asíncrono, que indica que se debe utilizar ocho bits de datos, un bit de parada y ningún bit de paridad, para que exista comunicación estos valores deben ser los mismos en la configuración serial del PIC.

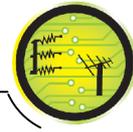
En la tabla 3.5, se indican todas las configuraciones soportadas por el módem y el formato en que se deben escribir:

AT+ICF	TE-TA CharacterFraming
<format>	1 = 8data , 2 stop, no parity 2 = 8data , 1 stop, 1 parity 3 = 8data , 1 stop, no parity 4 = 7data , 2 stop, no parity 5 = 7data , 1 stop, 1 parity 6 = 7data , 1 stop, no parity
<parity>	0 = odd 1 = even 2 = mark 3 = space
Reference	GSM Ref. 07.0 Chapter 6.2.11
Standard Scope	Mandatory
Implementation Scope	Partial
Notes	If no parity is specified in <format>, then <parity> is ignored.

Tabla 3.5 Configuración serial del módem

Entonces el comando para configurar la comunicación serial del modem quedaría de la siguiente manera:

**AT+ICF = 3, 0**



Sin embargo antes de realizar esto, se debe establecer la velocidad para la conexión, en nuestro caso vamos a utilizar 9600bps:

**AT+CBST = 7,0,1**

### 3.3.2 CONFIGURACIÓN DEL ACCESO A LA RED GPRS

Para que el módem pueda acceder a los servicios de la red, debe poder registrarse como un usuario válido dentro del sistema, para poder realizar esto se debe primero obtener una dirección IP (que dependiendo de la operadora puede ser una dirección dinámica o estática) y el APN (que debe ser provisto por la operadora al momento de realizar la contratación del servicio GPRS y también puede ser asignado dinámicamente).

El comando AT para hacer esto es el siguiente:

**AT+CGDCONT=1,"IP","internet.movistar.com.ec"**

### 3.3.3 CONFIGURACIÓN DE LA DIRECCIÓN IP Y PUERTO DEL SERVIDOR

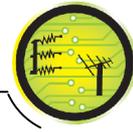
Esta configuración permite al módem identificar el destino de los datos, se debe indicar una dirección IP pública y un puerto específico, el mismo que debe estar habilitado en el servidor para poder recibir los datos.

Existe una instrucción **at\$friend** que especifica una lista de servidores "amigos" que debe especificarse en la configuración y la sintaxis del comando es la siguiente:

**AT\$FRIEND=1,1, "200. 0.29.31", 555, 1**

El primer dígito "1" es un número de identificación y puede variar entre 1 y 10, el segundo dígito "1" es para indicar que la dirección corresponde a un servidor (0 indica que no es servidor), el siguiente campo es la dirección IP pública hacia donde van a llegar los datos (200.0.29.31), el siguiente campo es el puerto de destino (555) y el último dígito "1" significa que se va a utilizar el protocolo TCP.

Luego con **AT\$TCPAPI=1** indicamos que se va a habilitar el estado de la conexión TCP.



### 3.3.4 CONFIGURACIÓN DEL REGISTRO A LA RED

Existen dos instrucciones que nos permitirán el registro del equipo en la red, así como la activación automática GPRS del equipo en el encendido:

**AT+CREG=2**

**AT+SAREG=2**

### 3.3.5 GUARDAR LOS CAMBIOS EN LAS CONFIGURACIONES

Una vez que ya se han realizado todas las configuraciones, las escribimos en la memoria del modem de forma permanente, el comando para hacer esto es el siguiente:

**AT&W**

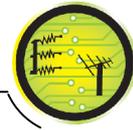
Y finalmente realizamos un *reset* del equipo para que se inicialice con los cambios realizados:

**AT+RESET**

## 3.4 INSTALACIÓN DE INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN

Los instrumentos de medición a instalar son dos: el Caudalímetro Polysonics DCT7088 y el transmisor de presión ECO-1.

Para la correcta medición de los valores obtenidos por los transmisores es importante una correcta instalación de los mismos en las tuberías, es importante señalar que en el caso del caudalímetro, que utiliza una técnica de medición no invasiva, hay que tener en cuenta en qué parte del trayecto de la tubería se lo va a instalar, y en el caso del transmisor de presión, que tiene un conector de diámetro 1/4", se debe considerar los adaptadores necesarios para poder insertarlo en la tubería.



### 3.4.1 INSTALACIÓN DEL CAUDALÍMETRO POLYSONICS DCT7088

#### 3.4.1.1 Elección del sitio de instalación

Antes de instalar el caudalímetro, se debe primero realizar una inspección del sitio y elegir el trayecto adecuado para asegurar una medición precisa, en la figura 3.22 se puede ver algunos ejemplos de puntos recomendados para instalar los transmisores ultrasónicos del caudalímetro:

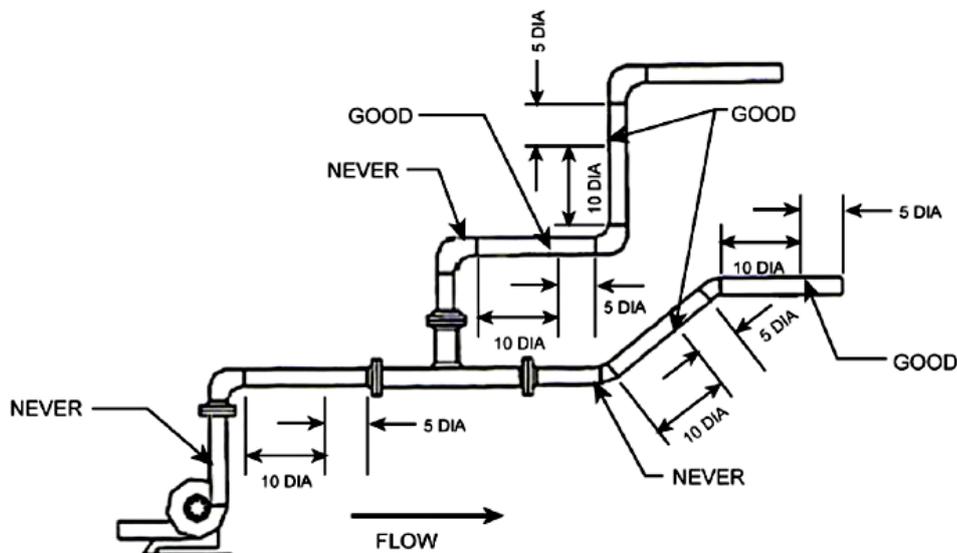
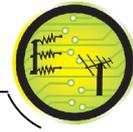


Figura 3.22 Lugares recomendados para instalar los transductores ultrasónicos [8]

Se deben tener en cuenta también las siguientes consideraciones, recomendadas por el fabricante:

- La sección de tubería utilizada debe estar siempre llena de líquido.
- El sitio debe tener un equivalente en línea recta de al menos 10 veces el diámetro de la tubería para el caso de un flujo aguas arriba y 5 veces el diámetro de la tubería para un flujo aguas abajo, desde cualquier codo, te "T", válvula, reductor de sección u otro elemento que introduzca disturbios en el flujo.
- Siempre montar los transductores en el costado de secciones de tubería horizontal, en las posiciones horarias *3 en punto* y *9 en punto*, esto previene de pérdidas en la señal que pueden ser causadas por sedimentos a lo largo de la parte inferior de la tubería o de burbujas de gas o aire en la parte superior.
- Evitar secciones de tubería con excesiva corrosión.



### 3.4.1.2 Montaje de los transductores

Una vez que se ha elegido el sitio apropiado, se debe asegurar un correcto montaje de los transductores para poder maximizar la precisión y fuerza de la señal.

Existen diferentes tipos de montaje, de acuerdo a la forma en la que la señal viaja a través del líquido de un transductor a otro, entre estos figuran el método de montaje en V, en W y en Z, y combinaciones como VW y WW (para diámetros de tubería menores a 2”), en la figura 1.2 se puede apreciar lo descrito.

El método elegido para esta aplicación en específico es el método de montaje en Z, el cual ofrece la menor atenuación que las señales transmitidas con otros métodos, esto es debido a que la transmisión ultrasónica entre los dos transductores se realiza en forma directa y no reflejada, como es el caso de los montajes tipo V o W, en los cuales la señal atraviesa el líquido más de una vez.

En la figura 3.23, se puede observar el modo de montaje en Z de los transductores.

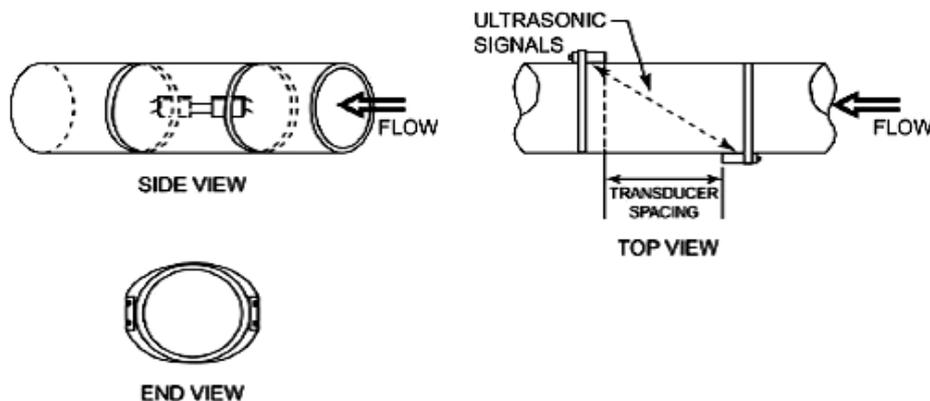


Figura 3.23 Montaje en Z de los transductores [8]

Tomando en cuenta estas consideraciones, a continuación se muestran los transductores ultrasónicos instalados en el lugar de operación, ver figura 3.24.

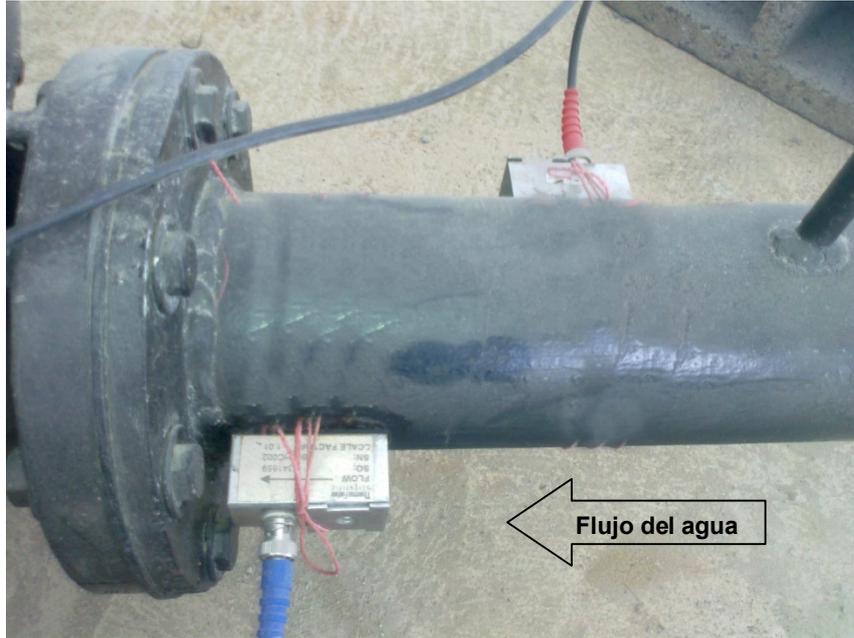


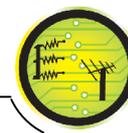
Figura 3.24 Instalación de transductores ultrasónicos

### 3.4.2 INSTALACIÓN DEL TRANSMISOR DE PRESIÓN ECO-1

El transmisor de presión ECO-1 utiliza una técnica de medición invasiva, esto es debido a que se debe realizar una perforación en la tubería previa su instalación, se debe tener en cuenta el diámetro de la tubería y los adaptadores necesarios para poder conectarlo. En la figura 3.25, se puede apreciar el transmisor ya instalado.



Figura 3.25 Transmisor de presión ECO-1 instalado



### 3.5 CALIBRACIÓN DEL SISTEMA

Hoy en día, todo sistema que conlleve la medición de variables físicas, debe cumplir con un estricto proceso de ajuste y calibración, con el fin de reducir los márgenes de incertidumbre en las medidas.

La calibración, es un proceso complejo, por lo que resulta imprescindible considerar las particularidades de cada sistema. Se debe tener en cuenta los requisitos de calidad establecidos en las normas de calidad y garantizar la fiabilidad y trazabilidad de las medidas.

Todo proceso de medida lleva asociado una incertidumbre, en las calibraciones se deben tener en cuenta todas las fuentes significativas de incertidumbre asociadas al proceso de medida del error que se lleva a cabo. En el entorno industrial se acepta que una fuente de incertidumbre puede considerarse no significativa cuando su estimación es inferior en valor absoluto a 4 veces la mayor de todas las fuentes estimadas.

#### 3.5.1 CONVERSIÓN DE CORRIENTE A VOLTAJE

Como se menciona en el apartado 3.1.1, utilizamos resistencias variables ( $R_{Vi}^{21}$ ) para convertir la señal de corriente de 4-20 mA entregada por los transmisores a voltaje, para que pueda ser adquirida y digitalizada por el módulo de procesamiento.

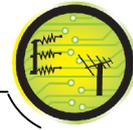
Debemos entonces, crear las condiciones adecuadas para realizar la calibración, utilizar un transmisor de corriente nos permite obtener señales de entrada próximas a las ideales, 4 a 20 mA, además de que con un transmisor la calibración puede resultar un proceso relativamente viable y asequible porque nos permite controlar las variaciones de corriente en toda la escala. El objetivo de esta prueba es comprobar la linealidad en la conversión de corriente a voltaje y el error que sucede al momento de realizar la conversión analógica-digital.

Con la ayuda del caudalímetro DCT7088, que entre sus utilidades posee la característica de generar una señal de corriente configurable por el usuario, que va de 4 a 20mA, que permite la calibración de la salida de corriente que este entrega, además nos va a permitir calibrar cada una de las entradas de nuestro sistema,  $I_{Nn}^{22}$  de la figura 3.3. La resistencia variable la tenemos establecida en  $250\Omega$ , conectada en paralelo con un multímetro (impedancia de entrada de  $10M\Omega^{23}$ ), para medir la caída de potencial producida en la resistencia y con uno de los pines del

<sup>21</sup> Donde  $i$  equivale a cada una de las resistencias variables de precisión de cada entrada de la estación remota.

<sup>22</sup> Donde  $n$  equivale a cada una de las entradas de la estación remota.

<sup>23</sup> Multímetro marca A&V, modelo MY-64.



microcontrolador que va a mostrar su correspondiente valor de corriente luego de la conversión análogo-digital, ver figura 3.26.

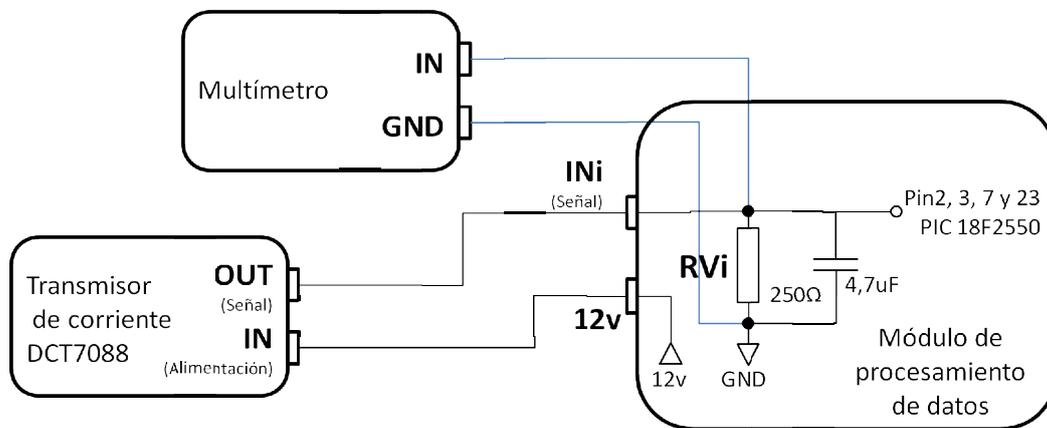


Figura 3.26 Conexión para las mediciones corriente-voltaje



Figura 3.27 Calibración del sistema

En la figura 3.28 se muestran los datos entregados por el generador de corriente del DCT7088 y los valores leídos del multímetro, mismos que muestran la linealidad que existe en la relación entre la corriente del bucle y el voltaje que se mide en la resistencia variable de precisión. La pendiente en la gráfica es de  $250\Omega$ , correspondiente al valor de la resistencia, que es lo que se esperaba y como se puede apreciar en la tabla 3.6.

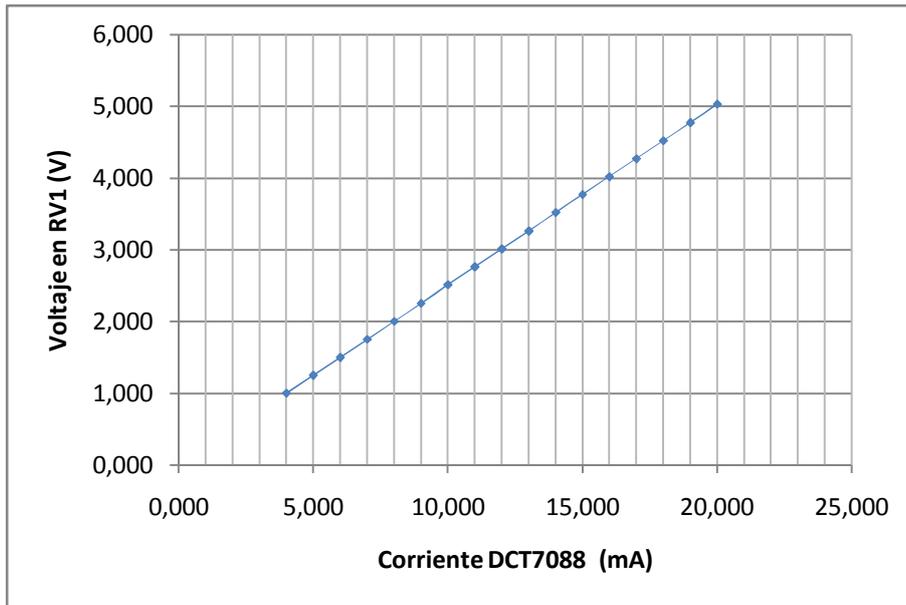
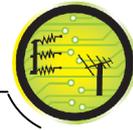
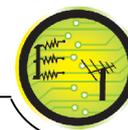


Figura 3.28 Relación en conversión de corriente a voltaje

Transmisor Corriente DCT7088 (mA)	Voltaje medido en RV1 (V)
4,000	1,000
5,000	1,250
6,000	1,500
7,000	1,750
8,000	2,000
9,000	2,250
10,000	2,510
11,000	2,760
12,000	3,010
13,000	3,260
14,000	3,520
15,000	3,770
16,000	4,020
17,000	4,270
18,000	4,520
19,000	4,770
20,000	5,030

Tabla 3.6 Corriente de entrada y voltaje medido en la RV1



### 3.5.2 RELACIÓN ENTRE SEÑAL DE CORRIENTE DE ENTRADA Y VALOR DE CORRIENTE CONVERTIDO EN EL PIC

Haciendo la comparación entre la señal de corriente generada por el transmisor del DCT7088 y los datos convertidos a corriente que nos entrega la estación de monitoreo, podemos encontrar una ecuación que nos permita linealizar estos valores.

Para leer los datos del microcontrolador, en el PC utilizamos el puerto serial y el plugin Serial Communicator de Microcode. El código fuente de prueba, que se le cargó al PIC, adquiere un dato cada segundo y lo envía hacia el puerto serial para que sea almacenado en el computador para hacer la comparación de resultados, las pruebas fueron realizadas generando incrementos de 2 mA,

Como se puede observar en la tabla 3.7 y en la figura 3.29, existe un pequeño error, el cual tratamos de caracterizarlo, aplicando una regresión lineal utilizando el método de mínimos cuadrados que se describió en el apartado 1.7.

Corriente DCT7088 (mA)	Corriente IN1		Corriente IN2		Corriente IN3		Corriente IN4	
	(mA)	error R						
4,00	4,000	0,0%	4,000	0,0%	4,000	0,0%	4,000	0,0%
6,00	5,981	0,3%	6,012	0,2%	6,028	0,5%	6,028	0,5%
8,00	7,994	0,1%	8,056	0,7%	8,025	0,3%	8,072	0,9%
10,00	9,959	0,4%	10,053	0,5%	10,053	0,5%	10,084	0,8%
12,00	11,925	0,6%	12,081	0,7%	12,081	0,7%	12,112	0,9%
14,00	13,906	0,7%	14,078	0,6%	14,078	0,6%	14,078	0,6%
16,00	15,950	0,3%	16,090	0,6%	16,090	0,6%	16,106	0,7%
18,00	17,900	0,6%	18,102	0,6%	18,102	0,6%	18,134	0,7%
20,00	19,912	0,4%	19,959	0,2%	19,959	0,2%	19,959	0,2%

Tabla 3.7 Señal de corriente con respecto a cada una de las entradas

La regresión lineal, como ya lo mencionamos, consiste en encontrar la ecuación de la recta que más se aproxime a unos datos ( $X_c, Y_c$ ) obtenidos experimentalmente. La ecuación de la recta con la que se van ajustar nuestros puntos es del tipo  $y = ax + b$ . En nuestro caso,  $x$  corresponde a los valores obtenidos mediante el generador de corriente del DCT7088 e  $y$  corresponde al valor de corriente digitalizado por el módulo ADC del microcontrolador, por lo tanto, lo que se necesita obtener es la pendiente  $a$  y la ordenada  $b$ .

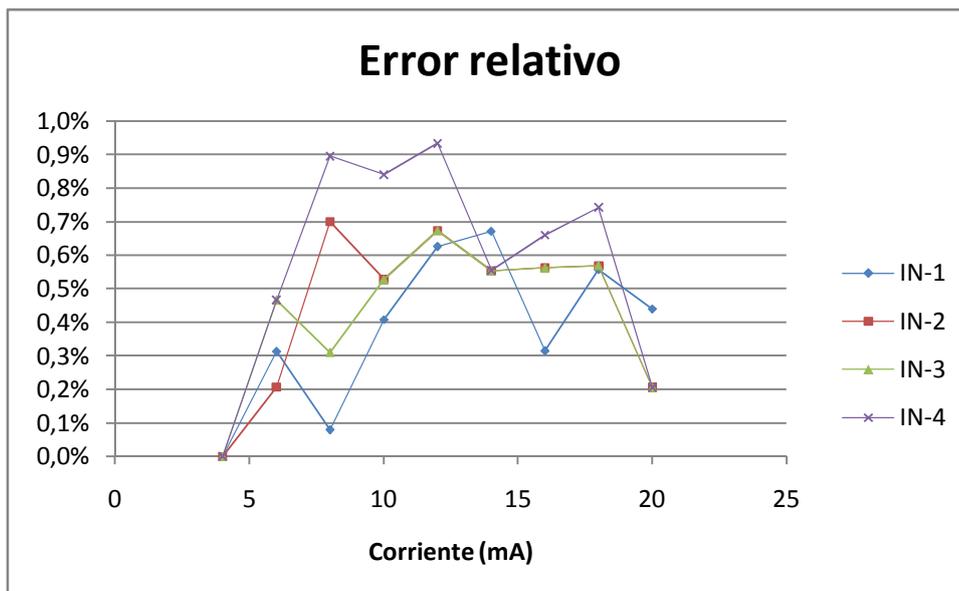
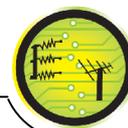


Figura 3.29 Error relativo en las 4 entradas

Para poder realizar esto, trazamos los puntos con un gráfico de dispersión y luego agregamos su línea de tendencia, mostrando también la ecuación y el factor de correlación. Este procedimiento lo realizamos para cada uno de los cuatro canales que posee nuestro sistema, con el fin de calibrar cada canal y asegurar que cualquier sensor que se conecte entregue datos correctos para su posterior procesamiento y transmisión. A continuación se muestran las gráficas generadas junto con la ecuación de calibración para cada canal:

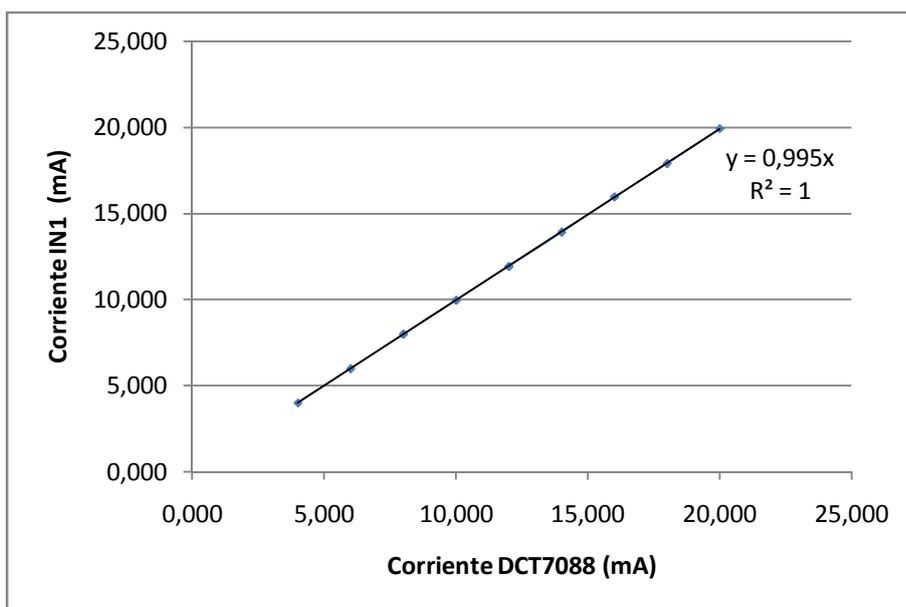


Figura 3.30 Corriente DCT7088 vs Corriente PIC y Ecuacion Canal1

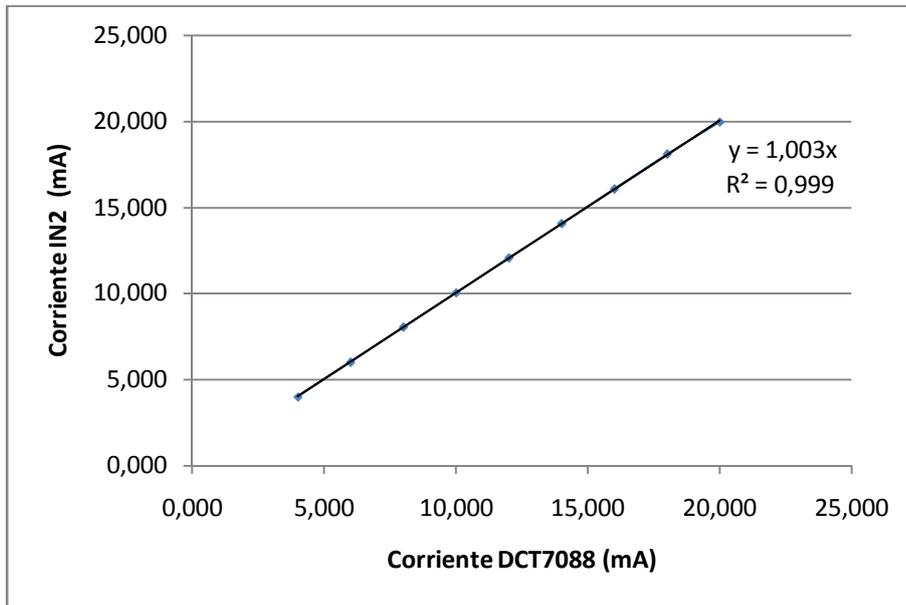
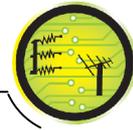


Figura 3.31 Corriente DCT7088 vs Corriente PIC y Ecuacion Canal 2

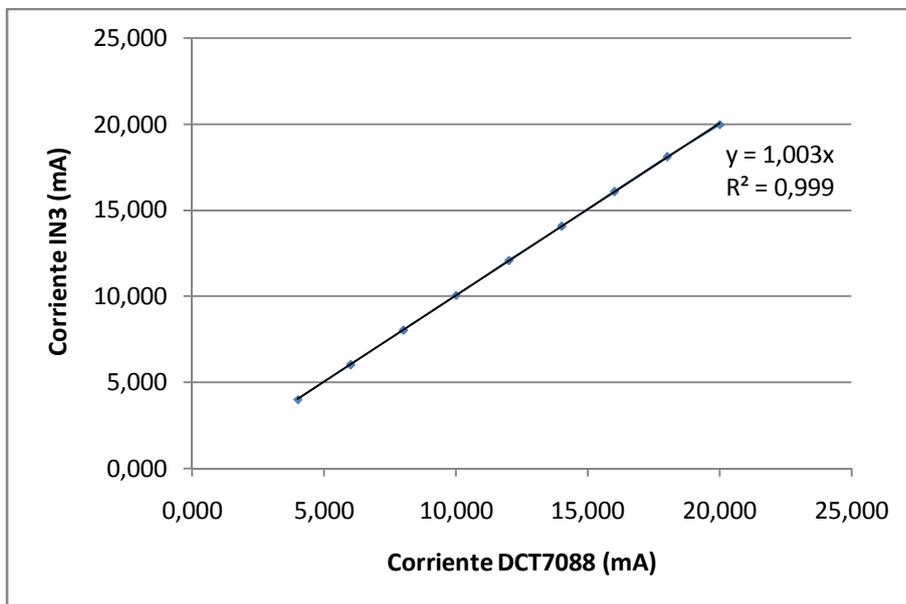


Figura 3.32 Corriente DCT7088 vs Corriente PIC y Ecuacion Canal 3

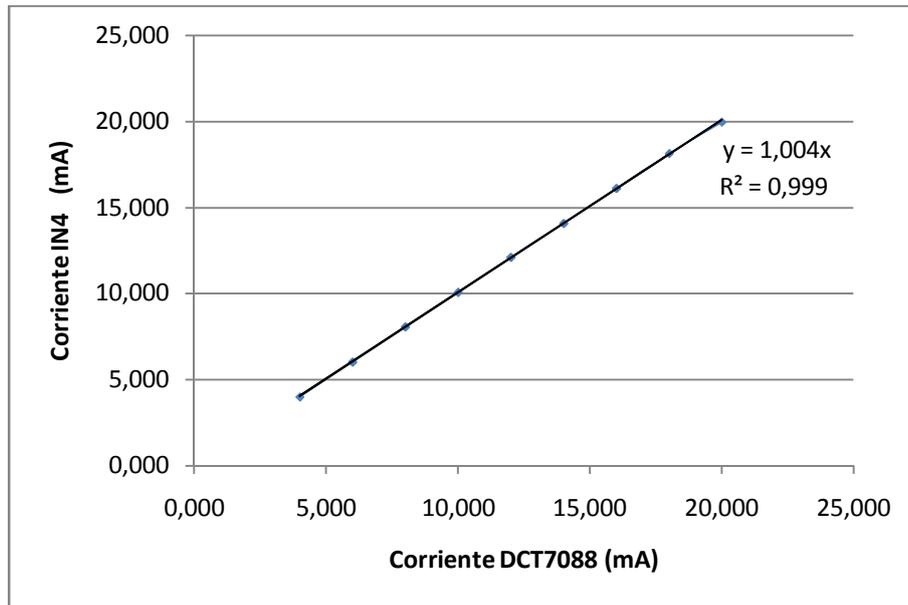
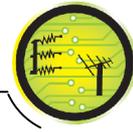


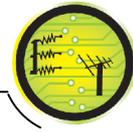
Figura 3.33 Corriente DCT7088 vs Corriente PIC y Ecuacion Canal 4

Canal	Factor de correlación	Ecuación
Uno	1,0000	$y = 0,9953x$
Dos	0,9999	$y = 1,0036x$
Tres	0,9999	$y = 1,0035x$
Cuatro	0,9999	$y = 1,0047x$

Tabla 3.8 Resumen de linealización de entradas

Como se puede observar en las figuras 3.30 a 3.33, las ecuaciones generadas a partir de las líneas de tendencia, poseen una variación mínima, obteniéndose un factor de correlación promedio de 0,99925, lo que implica que el error relativo promedio es de 0,075%. Por tal razón, hemos considerado no aplicar sobre cada canal un factor multiplicativo de corrección, como sugieren las ecuaciones, tabla 3.8, sino que procedemos directamente a convertir el dato digitalizado, en la variable hidráulica respectiva.

El error es universal e inevitable, y acompaña a toda medida aunque ésta sea muy elaborada, o aunque se efectúe un gran número de veces. Es decir, el valor verdadero no puede determinarse con completa exactitud y es necesario encontrar unos límites que lo definan, de modo que sea práctico calcular la tolerancia de la medida.



## 4. PUESTA EN MARCHA DEL SISTEMA DE TELEMETRÍA

En esta sección presentamos los datos que envía la estación remota y su recepción en la estación de monitoreo, para verificar que el sistema está funcionando adecuadamente.

Antes de empezar a transmitir los datos, se debe asegurar que:

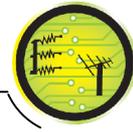
- El servidor cuente con los permisos necesarios.
- El puerto designado se encuentre habilitado y sobre todo que la dirección IP pública se encuentre activa.
- La base de datos se encuentre preparada y lista para recibir información.
- El módem en la estación remota cuente con saldo suficiente, o bien tenga un plan de datos activo, que permita el envío de la información, además que debe estar configurado correctamente.

Es importante señalar que, al momento de realizar las pruebas, los equipos de medición que se encontraban instalados en el nudo I de la zona alta, tuvieron que ser trasladados a las calles Cuba y Av. Pío Jaramillo, sector sur de la ciudad de Loja, debido a un proyecto conjunto entre la UTP y la UMAPAL. Razón por la cual instalamos nuestro sistema en esta nueva ubicación.

Lo único que cambia en este lugar, es que, ya se encontraba instalado un caudalímetro electromagnético del fabricante ABB modelo Magmaster (ver figura 4.1), que a diferencia del Polysonics DCT7088 que es ultrasónico, no permite la extracción de los datos almacenados sino solamente su visualización, problema que quedó resuelto, ya que al conectar nuestra estación, los datos leídos a través de su salida analógica de 4 a 20 mA, iban a ser transmitidos y por lo tanto, aprovechados de mejor forma. En la figura 4.2, se puede apreciar el caudalímetro instalado en el lugar de funcionamiento.



Figura 4.1 Caudalímetro ABB Magmaster



En este punto el sistema ya se encuentra calibrado, de modo que, se puede conectar cualquier sensor que entregue a su salida una señal de corriente de 4 a 20 mA, que el caudalímetro Magmaster si posee, lo siguiente que hicimos fue habilitar la salida analógica del caudalímetro, para ello accedimos a las configuraciones internas del caudalímetro mediante conexión serial con un computador y utilizando un software de comunicación serial realizamos los cambios necesarios.

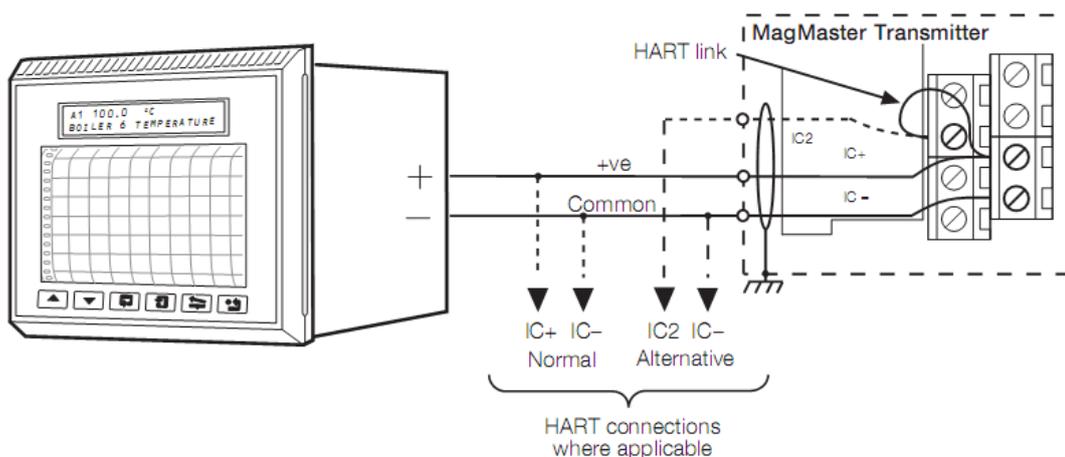


a) Caudalímetro ABB Magmaster.

b) Tablero de control y visualización

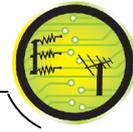
**Figura 4.2 Caudalímetro ABB Magmaster instalado**

Luego, para poder conectar la salida de corriente del caudalímetro a nuestra estación seguimos las instrucciones descritas en las hojas de especificaciones del fabricante<sup>24</sup> y que se muestran en la figura 4.3.



**Figura 4.3 Conexión de la salida de corriente del caudalímetro ABB**

<sup>24</sup> Para ver las características técnicas referirse al anexo 11 [21].



En cuanto a los transmisores de presión, se construyeron dos cajas metálicas para alojarlos en el mismo pozo en donde se encuentra instalado el caudalímetro, una se encuentra ubicada aguas arriba respecto del caudalímetro y la otra aguas abajo aproximadamente a 70 cm de separación. En la figura 4.4 se puede apreciar lo antes descrito.

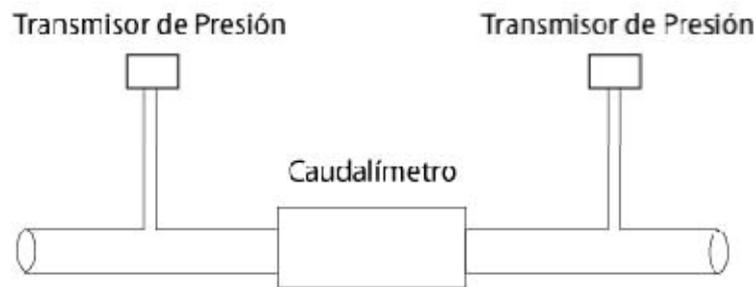
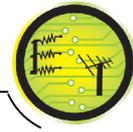


Figura 4.4 Ubicación de transmisores de presión

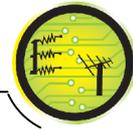
En la Captura de pantalla de la base de datos del servidor, figura 4.5, se puede apreciar la base de datos MySQL<sup>25</sup>, que registra los datos a medida que la estación remota va transmitiendo, para ello, se realizó una aplicación que va tomando los datos que la estación transmite y los va colocando en los campos específicos de la base de datos. Estos campos se detallan a continuación:

- **estación:** Corresponde al número de estación remota que está transmitiendo. En el caso de la figura 4.5, ER1 corresponde a la Estación Remota 1.
- **día\_semana:** Corresponde al número de día, en donde Domingo es 1 y Sábado 7.
- **fecha:** corresponde a la fecha en formato año-mes-día.
- **hora:** corresponde a la hora en formato horas: minutos: segundos.
- **dato\_p1:** corresponde al dato de presión del canal1 en metros por columna de agua (mca), obtenido mediante el promedio de varios datos tomados en intervalos de diez segundos durante el lapso de una hora, es decir corresponde al promedio de 360 datos.

<sup>25</sup> En el anexo 12 se muestra un archivo de texto exportado desde la base de datos que corresponde a transmisiones de 8 días consecutivos.



- **dato\_i1:** corresponde al dato de presión instantánea del canal1 en metros por columna de agua (mca), este único valor es obtenido en los últimos diez segundos de la misma hora en la que se promedian los datos de *dato\_p1*.
- **dato\_p2:** corresponde al dato de presión del canal2 en metros por columna de agua (mca), obtenido mediante el promedio de varios datos tomados en intervalos de diez segundos durante el lapso de una hora, es decir corresponde al promedio de 360 datos.
- **dato\_i2:** corresponde al dato de presión instantánea del canal1 en metros por columna de agua (mca), este único valor es obtenido en los últimos diez segundos de la misma hora en la que se promedian los datos de *dato\_p2*.
- **dato\_p3:** este campo corresponde al valor en corriente (mA) que se lee en el canal3, en este canal todavía no se tiene conectado ningún sensor, por eso se observa el valor de 4 que corresponde a 4mA, es decir la salida mínima que cualquier sensor de 4 a 20mA entregaría a su salida, ya que hasta la culminación del presente trabajo de tesis, todavía no se adquiriría tanto el sensor de cloro residual ni el de turbidez de agua. Al igual que *dato\_p1* y *dato\_p2*, *dato\_p3* es obtenido mediante el promedio de varios datos tomados en intervalos de diez segundos durante el lapso de una hora.
- **dato\_i3:** este campo al igual en *dato\_i1* y *dato\_i2* corresponde al valor instantáneo leído en los últimos diez segundos de la misma hora en la que se promediaron los datos de *dato\_p3*.
- **dato\_p4:** este campo corresponde al valor en corriente (mA) que se lee en el canal3, en este canal todavía no se tiene conectado ningún sensor, por eso se observa el valor de 4 que corresponde a 4mA, es decir la salida mínima que cualquier sensor de 4 a 20mA entregaría a su salida, ya que hasta la culminación del presente trabajo de tesis, todavía no se adquiriría tanto el sensor de cloro residual ni el de turbidez de agua. Al igual que *dato\_p1*, *dato\_p2*, y *dato\_p3*, *dato\_p4* es obtenido mediante el promedio de varios datos tomados en intervalos de diez segundos durante el lapso de una hora.
- **dato\_i4:** este campo al igual en *dato\_i1* y *dato\_i2*, corresponde al valor instantáneo leído en los últimos diez segundos de la misma hora en la que se promediaron los datos de *dato\_p4*.



localhost > datasave\_server > data

Examinar Estructura SQL Buscar Insertar Exportar Importar Operaciones Vaciar Eliminar

Mostrando registros 0 - 162 (163 total. La consulta tardó 0.0021 seg)

```
SELECT *
FROM 'data'
LIMIT 0 , 300
```

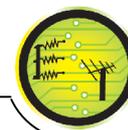
Perfil/Perfilamiento [ Editar ] [ Explicar el SQL ] [ Crear código ]

Mostrar: 300 filas empezando de 0 en modo horizontal y repetir los encabezados cada 100 celdas

+ Opciones

	estacion	dia_semana	fecha	hora	dato_p1	dato_i1	dato_p2	dato_i2	dato_p3	dato_i3	dato_p4	dato_i4
<input type="checkbox"/>	ER1	4	2011-11-02	13:00:00	69.45	71.1	69.04	70.68	4	4	4	4
<input type="checkbox"/>	ER1	4	2011-11-02	12:00:00	65.53	67.18	65.12	66.77	4	4	4	4
<input type="checkbox"/>	ER1	4	2011-11-02	11:00:00	72.13	65.12	71.72	64.71	4	4	4	4
<input type="checkbox"/>	ER1	4	2011-11-02	10:00:00	73.98	73.57	73.57	73.16	4	4	4	4
<input type="checkbox"/>	ER1	4	2011-11-02	09:00:00	74.6	74.4	74.19	73.98	4	4	4	4
<input type="checkbox"/>	ER1	4	2011-11-02	08:00:00	75.84	74.81	75.22	74.4	4	4	4	4
<input type="checkbox"/>	ER1	4	2011-11-02	07:00:00	76.66	76.46	76.25	75.84	4	4	4	4
<input type="checkbox"/>	ER1	4	2011-11-02	06:00:00	77.69	77.69	77.28	77.28	4	4	4	4
<input type="checkbox"/>	ER1	4	2011-11-02	05:00:00	77.28	77.49	76.87	76.87	4	4	4	4
<input type="checkbox"/>	ER1	4	2011-11-02	04:00:00	76.46	76.66	75.42	75.63	4	4	4	4
<input type="checkbox"/>	ER1	4	2011-11-02	03:00:00	77.08	77.28	76.66	77.08	4	4	4	4
<input type="checkbox"/>	ER1	4	2011-11-02	02:00:00	76.87	77.08	76.46	76.66	4	4	4	4
<input type="checkbox"/>	ER1	4	2011-11-02	01:00:00	75.42	75.63	74.6	74.81	4	4	4	4
<input type="checkbox"/>	ER1	4	2011-11-02	00:00:00	76.04	76.46	75.63	76.04	4	4	4	4
<input type="checkbox"/>	ER1	3	2011-11-01	23:00:00	74.19	74.81	73.36	73.98	4	4	4	4
<input type="checkbox"/>	ER1	3	2011-11-01	22:00:00	73.98	75.22	73.57	74.6	4	4	4	4
<input type="checkbox"/>	ER1	3	2011-11-01	21:00:00	73.36	73.78	72.95	73.36	4	4	4	4
<input type="checkbox"/>	ER1	3	2011-11-01	20:00:00	72.33	73.16	71.72	72.75	4	4	4	4
<input type="checkbox"/>	ER1	3	2011-11-01	19:00:00	71.3	71.3	70.48	70.48	4	4	4	4
<input type="checkbox"/>	ER1	3	2011-11-01	18:00:00	70.89	72.33	70.48	71.92	4	4	4	4
<input type="checkbox"/>	ER1	3	2011-11-01	15:00:00	62.65	63.27	61.82	62.65	4	4	4	4
<input type="checkbox"/>	ER1	3	2011-11-01	17:00:00	67.59	69.45	67.18	69.04	4	4	4	4
<input type="checkbox"/>	ER1	5	2011-11-03	09:00:00	71.51	71.92	70.68	71.1	4	4	4	4
<input type="checkbox"/>	ER1	6	2011-11-03	08:00:00	73.16	73.75	72.33	71.92	4	4	4	4

Figura 4.5 Captura de pantalla de la base de datos del servidor



## 5. ANÁLISIS DE COSTOS

La implementación de nuestro sistema trae consigo el uso de varios materiales y servicios que demandan una inversión de capital, con lo que se distinguen dos tipos de inversiones: inicial y mensual.

### 5.1 INVERSIÓN INICIAL

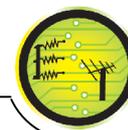
#### 5.1.1 ESTACIÓN DE MONITOREO

Cantidad	DESCRIPCIÓN	P. UNITARIO (USD)	P. TOTAL (USD)
1	Computador-servidor	1000,00	1000,00
1	Computador-lectura de datos	500,00	500,00
1	Punto de acceso a internet (instalación)	50,00	50,00
	<b>TOTAL</b>		<b>1550,00</b>

Tabla 5.1 Inversión estación de monitoreo

#### 5.1.2 ESTACIÓN REMOTA

Cantidad	DESCRIPCIÓN	P. UNITARIO (USD)	P. TOTAL (USD)
5	Capacitores electrolíticos de 1uF	0,05	0,25
4	Capacitores electrolíticos de 47uF	0,05	0,20
3	Capacitores electrolíticos de 2200uF	0,30	0,90
1	Capacitor electrolítico de 10uF	0,05	0,05
1	Capacitor electrolítico de 4,7uF	0,05	0,05
2	Capacitores cerámicos de 22pF	0,05	0,10
4	Capacitores cerámicos de 1nF	0,05	0,20
4	Potenciómetros 1kΩ	0,80	3,20
1	Potenciómetros 10kΩ	0,80	0,80
3	Resistencias 330Ω	0,03	0,09
2	Resistencias 10kΩ	0,03	0,06
3	Resistencias 4,7kΩ	0,03	0,09
1	Resistencia 470Ω	0,03	0,03
4	LEDs	0,05	0,20
1	PIC 18F2550	13,00	13,00
1	MAX232	1,00	1,00
1	LM7805	0,40	0,40
1	DS1307	4,50	4,50
1	Cristal de 20MHz	0,60	0,60
1	Cristal de 32768Hz	0,60	0,60
8	Borneras de 2 pines	0,20	1,60
1	Bornera de 3 pines	0,20	0,20
1	Batería de Litio 3v	0,50	0,50
1	Transistor 2N3904	0,05	0,05
2	Pulsadores	0,05	0,10
1	Conector USB tipo B macho	0,65	0,65
1	Cable USB para impresora	1,25	1,25



1	Conmutador bipolar	0,35	0,35
1	Conector IEC320 macho para chasis	0,80	0,80
1	Cable de poder	1,85	1,85
1	Adaptador 110VAC/12VDC	4,70	4,70
4	Porta LEDs	0,50	2,00
4	Conectores VNC hembra	0,50	2,00
4	Conectores VNC macho para chasis	0,30	1,20
6	Metros de cable coaxial RG59	0,20	1,20
1	Zócalo 28 pines	0,20	0,20
1	Zócalo 16 pines	0,10	0,10
1	Zócalo 8 pines	0,10	0,10
1	Módem Skypatrol TT8705	250,00	250,00
1	Tarjeta SIM	5,00	5,00
1	Caja de Plástico ABS (16x20x22)cm	18,50	18,50
1	Porta-batería	0,50	0,50
1	Varios	20,00	20,00
	<b>TOTAL</b>		<b>339,17</b>

Tabla 5.2 Inversión por cada estación remota

Como en nuestro sistema se considera la manufactura y puesta en funcionamiento de 2 estaciones remotas, tenemos que doblar el total por estación remota.

Cantidad	DESCRIPCIÓN	P. UNITARIO (USD)	P. TOTAL (USD)
2	Estaciones remotas	339,17	678,34
	<b>TOTAL</b>		<b>677,34</b>

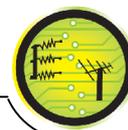
Tabla 5.3 Total de inversión en dos estaciones remotas

### 5.1.3 TRANSMISORES DE PRESIÓN Y CAUDAL

La estación remota funciona independiente del transmisor que esté conectado a su entrada, lo que hay que variar es el firmware en la etapa de cuantificación de los datos. Es por esta razón que a los transmisores de presión y de caudal los ubicamos en otro apartado.

Cantidad	DESCRIPCIÓN	P. UNITARIO (USD)	P. TOTAL (USD)
1	Transmisor de presión ECO-1	280,00	280,00
1	Caudalímetro DCT7088	7600,00	7600,00
	<b>TOTAL</b>		<b>7880,00</b>

Tabla 5.4 Inversión en transmisores de presión y caudal



### 5.1.4 INSTALACIÓN Y CONFIGURACIÓN

Cantidad	DESCRIPCIÓN	P. UNITARIO (USD)	P. TOTAL (USD)
30	Horas de trabajo (fabricación est. remota)	20,00	600,00
6	Horas de trabajo(instalación)	20,00	120,00
		<b>TOTAL</b>	<b>720,00</b>

Tabla 5.5 Inversión en instalación y configuración

### 5.1.5 RESUMEN

DESCRIPCIÓN	P. TOTAL (USD)
Estación de monitoreo	1550,00
Estaciones remotas	677,34
Transmisores de presión y caudal	7880,00
Instalación y configuración	720,00
<b>TOTAL</b>	<b>10827,34</b>

Tabla 5.6 Resumen de inversión inicial

## 5.2 INVERSIÓN MENSUAL

Se debe considerar que la operadora tiene una tarifa mensual de acuerdo a la cantidad de tráfico generado.

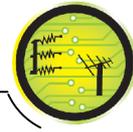
A continuación en la tabla 5.7 y tabla 5.8 se muestran los planes GPRS prepago y bajo demanda ofertados por la operadora Movistar.

### Paquetes Prepago

Paquetes	Tarifa Mensual		Vigencia	MB Incluidos
	Precio sin impts (IVA)	Precio Final		
Internet Movistar	\$5,99	\$6,71	30 días	15
	\$9,99	\$11,19	30 días	30
	\$14,99	\$16,79	30 días	60
	\$19,99	\$ 22,39	30 días	500

Tabla 5.7 Planes GPRS prepago Movistar

Fuente: <http://www.movistar.com.ec/site/movil-personas/correo-e-internet/internet-en-el-movil.html>



## Bajo Demanda

Paquetes	Unidad	Precio sin impts (IVA)	Tarifa Final
Internet Bajo Demanda	KB	\$0,00195	\$0,00218
	MB	\$2,00	\$2,24

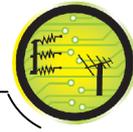
Tabla 5.8 Planes GPRS bajo demanda

Considerando el análisis realizado en el apartado 2.2 respecto del tráfico mensual generado, hemos decidido que el plan que se adapta a nuestras necesidades es utilizar el servicio GPRS bajo demanda, ya que solamente se utilizan 56 KB al mes por estación.

### 5.3 PERSPECTIVA DE COMERCIALIZACIÓN

Debido al enfoque que posee el presente trabajo, resulta de especial interés para instituciones que deseen tener un sistema de monitoreo del agua que consumen; y debido a la gran escalabilidad del sistema, puede considerarse su implementación ya sea desde pequeños poblados hasta grandes ciudades, siendo los gobiernos seccionales los principales beneficiados al contar con un sistema que les permitirá contar con datos reales del estado de la red hídrica, lo que conlleva a una verdadera gestión hidráulica, ya que contar con datos oportunos de caudales y presiones ayuda a garantizar la toma de decisiones adecuadas, para direccionar la gestión de los abastecimientos hacia la sostenibilidad.

Considerando además que tanto en nuestra ciudad como en el resto del país, aun no se aprovechan las potencialidades de los sistemas de telemetría adaptados al monitoreo hidráulico de redes de distribución de agua, el uso de un sistema como este supondría una considerable oportunidad de desarrollo y mejoramiento de la calidad de vida de los ciudadanos, que son los principales beneficiarios.

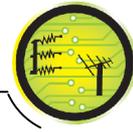


## 6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Una vez culminado nuestro proyecto “DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE MONITOREO REMOTO DE VARIABLES HIDRÁULICAS DE LA RED DE AGUA POTABLE DE LA UTPL UTILIZANDO LA PLATAFORMA DE GPRS”, podemos puntualizar las siguientes conclusiones y recomendaciones:

### 6.1 CONCLUSIONES

- Se logró diseñar e implementar dos estaciones remotas con capacidad para cuatro entradas analógicas de 4 a 20mA, sin embargo, el número de entradas podría aumentar sin problema hasta diez, que es la capacidad máxima del módulo de conversión analógica-digital del PIC 18F2550, lo que da al sistema la escalabilidad suficiente para aumentar su capacidad.
- Se definió un tiempo de muestreo para la adquisición de variables, de 10 segundos, es decir, se toman 360 muestras por hora, tiempo en el cual se promedia todos los 360 valores medidos. Este tiempo es definido tomando en cuenta, que algunos fenómenos transitorios tienen una duración de pocos segundos, con lo que, tomando muestras cada 10 segundos y luego obteniendo su promedio cada hora, no obtenemos valores picos, sino que se genera una tendencia, lo que permite una eficiente interpretación hidráulica. Para el caso del dato instantáneo, este único valor es medido al finalizar la hora en la que transcurrieron las 360 mediciones, es decir, corresponde a la medición número 360.
- Como sabemos, en los sistemas GPRS los recursos de radio son utilizados solo cuando se están enviando o recibiendo datos, es decir, una vez que la estación remota inicia la sesión, puede permanecer conectada durante el tiempo que requiera y los costos por el uso del servicio están en función de la cantidad de datos transmitidos, a diferencia de GSM donde el cobro se lo realiza por el número de mensajes enviados y no por la cantidad de información contenida en los mensajes, por lo que resulta mucho mejor utilizar la red GPRS en lugar de envío de SMS para la transmisión de los datos, tal como lo hicimos en el presente trabajo de tesis.
- La calibración del sistema fue necesaria para asegurar que la estación sea lo suficientemente exacta. Como se describió en la etapa de calibración, la relación entre las señales de corriente entregadas por los transmisores y los valores de corriente medidos por cada canal en las estaciones, nos muestra que todos los puntos se encuentran sobre la línea de tendencia para cada uno de los canales de entrada, con un factor de correlación promedio de

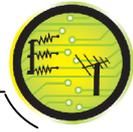


0.99925, donde la unidad indica que existe una correlación perfecta y directa, obteniéndose un error relativo promedio de 0,075%.

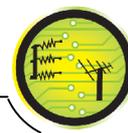
- El aporte más relevante que da la implementación completa del sistema de monitoreo del estado de la red de agua potable, la detección de fugas a tiempo, esto permite a su vez, la reducción de gasto innecesario del agua consiguiendo un ahorro considerable del recurso, ya que una gran mayoría de abastecimientos no contabilizan hasta en un 70% el volumen inyectado y que es producido mayormente por las fugas, por ejemplo, la empresa operadora de agua de Loja (UMAPAL), no contabilizaba el 72% de su volumen suministrado [22]; y una mejora sustancial en la calidad del agua que utilizamos todos los ciudadanos, porque se aumenta considerablemente la calidad del líquido vital, al controlar a tiempo su contaminación por intrusión patógena.

## 6.2 RECOMENDACIONES

- Aumentar en la estación remota un sistema de energía ininterrumpida que se active cuando se corte el abastecimiento de energía eléctrica y funcione durante periodos cortos de tiempo, hasta que se rehabilite el suministro de energía eléctrica, debido a que depender solo de las baterías nos traería problemas cuando estén por agotarse o se encuentran al final de su vida útil porque nos entregarán voltajes y corrientes inferiores a las nominales, provocando que los transmisores reciban voltajes inferiores a los de operación, lo que dará como resultado datos erróneos.
- Si se desea que la estación remota opere en lugares donde existan condiciones extremas, se deben tomar medidas preventivas contra el polvo, la humedad y el ingreso de agua, como por ejemplo utilizar cajas con protecciones mayores a IP54 o NEMA4.
- Al momento de adquirir los sensores, siempre considerar que los sensores estén calibrados, porque son para interpretaciones científicas donde es necesario estar apegado a normas o estándares internacionales.
- Aprovechar al máximo la red GPRS con comunicaciones bidireccionales, para realizar no solo monitoreo sino también operaciones de control (telemando) mediante el accionamiento de actuadores, consiguiendo un sistema mucho más completo.
- En la actualidad los computadores portátiles y de escritorio ya no disponen en su mayoría de puerto DB9 para comunicación serial. Entonces, para la comunicación entre el computador y los microcontroladores hay que usar un

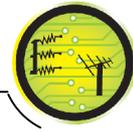


cable conversor de Serial a USB, o utilizar un computador antiguo que cuente con puerto serial, lo que nos llevó a trabajar directamente con microcontroladores que soporten comunicación USB, tal como es el caso del PIC 18F2550 que utilizamos en este proyecto.

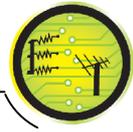


## 7. BIBLIOGRAFÍA

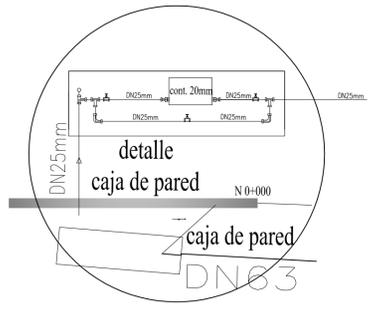
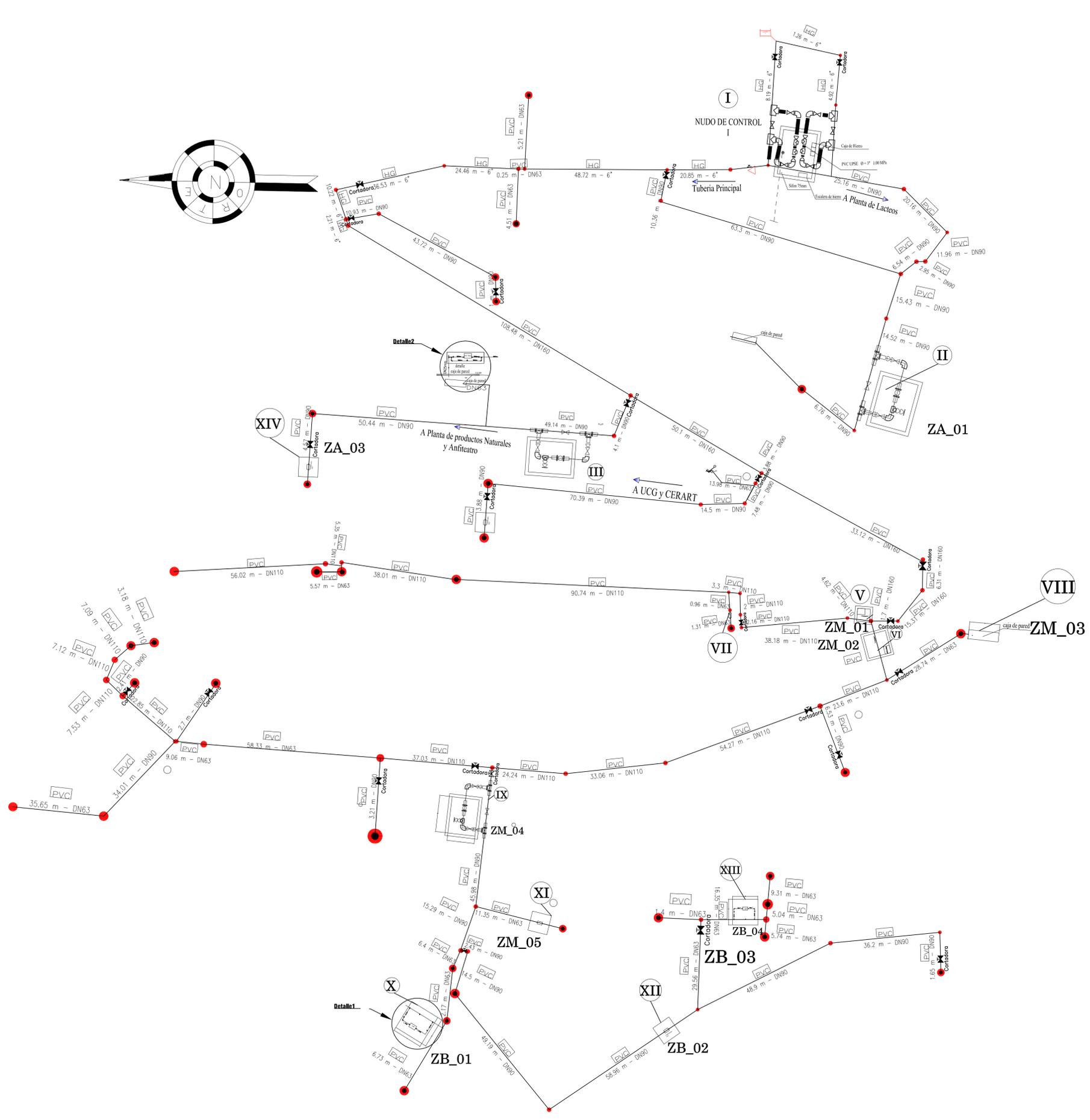
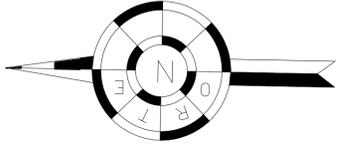
- [1] **Patrick Moriarty, John Butterworth, Charles Batchelor.** La gestión integrada de los recursos hídricos. [En línea]. Disponible en [http://www.irc.nl/content/download/24744/276391/file/TOP9\\_IWRM\\_S\\_06.pdf](http://www.irc.nl/content/download/24744/276391/file/TOP9_IWRM_S_06.pdf).
- [2] **JIMÉNEZ, MANUEL.** Grupo ArqHys. *www.arqhys.com*. [En línea] [Citado el: 02 de octubre de 2011]. Disponible en <http://www.arqhys.com/contenidos/agua-sistema.html>.
- [3] **PÉREZ, RAFAEL.** Dimensionamiento óptimo de redes de distribución ramificadas considerando los elementos de regulación. Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Valencia Departamento de Ingeniería Hidráulica y medio ambiente. [En línea]. 1993. Disponible en <http://personales.upv.es/rperez/C3-Fund.pdf>.
- [4] **GIMÉNEZ LOPEZ, RICARD.** *Frio Industrial (Vol.1) Mantenimiento y Servicios a la Producción*. s.l.: Marcombo, S.A., 2005.
- [5] **CREUS SOLÉ, ANTONIO.** *Instrumentación Industrial*. s.l.: Maracombo S.A., 2010. VIII Edición.
- [6] Departamento de Industria y Negocios. Elementos electrónicos de vacío. <http://www.industriaynegocios.cl>. [En línea] 2008. [Citado el: 01 de febrero de 2011]. Disponible en <http://www.industriaynegocios.cl/Academicos/AlexanderBorger/Docts%20Docencia/Seminario%20de%20Aut/trabajos/Trabajos2006/presion/ELEMENTOS%20ELECTR%C3%93NICOS%20DE%20VACIO.htm>.
- [7] **MOTT, ROBERT.** *Mecánica de fluidos*. Sexta edición. México: Pearson Education, 2006.
- [8] Thermo Scientific. Polysonics DCT7088. Portable transit time flowmeter user guide. Disponible en [http://www.thermo.fr/eThermo/CMA/PDFs/Product/productPDF\\_10281.pdf](http://www.thermo.fr/eThermo/CMA/PDFs/Product/productPDF_10281.pdf)
- [9] **BAPI.** Building Automation Products Inc. Designing 4-20mA current loops. <http://www.bapihvac.com/>. [En línea] 2011. [Citado el: 09 de mayo de 2011]. Disponible en <http://www.bapihvac.com/content/uploads/2010/07/Designing-4-20-mA-Current-Loops.pdf>.
- [10] **GONZÁLEZ, FRANCISCO.** *Sistemas rcl*. *www.sistemasrcl.com*. [En línea] junio de 2007. [Citado el: 01 de febrero de 2011]. Disponible en [www.sistemasrcl.com/sitebuildercontent/.../6transmisores.ppt](http://www.sistemasrcl.com/sitebuildercontent/.../6transmisores.ppt).
- [11] Componentes Industriales Ltda. Lazo de corriente de 4-20mA. [www.comind.cl/cindustriales/](http://www.comind.cl/cindustriales/). [En línea] octubre de 2009. [Citado el: 2 de febrero de 2011] Santiago de Chile.
- [12] Mobile World Cat. <http://mobileworldcat.org/>. [En línea] 2011. [Citado el: 26 de enero de 2011]. Disponible en <http://mobileworldcat.org/mobile/networks/how-does-the-gprs-work.html>.



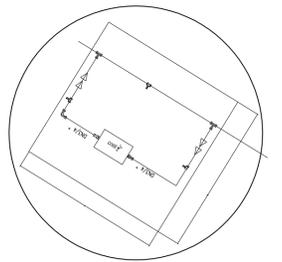
- [13] **BETTSTETTER CHRISTIAN, VÖGEL HANS-JÖRGL, EBERSPÄCHER JÖRG.** Ebookbrowse. *www.ebookbrowse.com*. [En línea] 2010. [Citado el: 28 de enero de 2011]. Disponible en <http://ebookbrowse.com/ieee-gsm-gprs-architecture-protocols-pdf-d48421216>.
- [14] TEC electrónica S.A. Estándares de protección IP y Nema. [En línea] 2002. Disponible en [http://www.tec-mex.com.mx/material/IP\\_Y\\_NEMA.pdf](http://www.tec-mex.com.mx/material/IP_Y_NEMA.pdf)
- [15] **Torrelavega.** Ajuste por mínimos cuadrados. Escuela Universitario de Ingenieros Técnicos de minas. [En línea] [Citado el: 10 de octubre de 2011]. Disponible en <http://www.optica.unican.es/fisicaMinas/practicas/Ajuste%20por%20m%C3%A9todos%20de%20m%C3%ADnimos%20cuadrados.doc>.
- [16] Wika Instrument Corporation. ECO-tronic pressure transmitter type ECO-1. Disponible en [http:// de-de.wika.de/upload/ba\\_eco\\_1\\_6394.pdf](http://de-de.wika.de/upload/ba_eco_1_6394.pdf)
- [17] Microchip Technology Inc. PIC18F2455/2550/4455/4550 Data sheet. Disponible en <http://ww1.microchip.com/downloads/en/devicedoc/39632c.pdf>
- [18] Skypatrol LLC. AT Command reference TT8750AT001. Disponible en <http://www.lawebmovil.com/soporte/skypatrol/TT8750AT001%20-%20SkyPatrol%20AT%20Command%20Reference%2014.pdf>
- [19] Maxim Integrated Products. +5V-Powered, Multichanel RS-232 Drivers/Receivers, MAX220-MAX249. Disponible en <http://www.datasheetcatalog.org/datasheet/maxim/MAX220-MAX249.pdf>
- [20] Dallas semiconductor. DS1307 64x8 serial real-time clock.. Disponible en <http://www.sparkfun.com/datasheets/Components/DS1307.pdf>
- [21] ABB Limited. Electromagnetic flowmeter MagMaster – Water & Waste water version. Disponible en <http://www.abb.es/product/seitp330/05d2d070fe77f6f0c1256d32002bffcd.aspx>
- [22] Altamirano F. - Reporteros: Yáñez C. y Jaramillo D. 2007



## 8. ANEXOS



**Detalle2**



**Detalle1**

 <p><b>UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA</b> <b>ESCUELA DE ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES</b></p>		
<b>PROYECTO:</b>	Diseño e Implementación de un sistema de Monitoreo Remoto, de Variables Hidráulicas de la Red de Agua Potable de la UTPL, utilizando la Plataforma GPRS	
<b>UBICACIÓN:</b>	Campus UTPL.	
<b>DISEÑO:</b>	<b>U.C.G</b>	
<b>TESISTAS:</b>	<b>FECHA:</b> Diciembre /2011	<b>LAMINA:</b>
FERNANDO ISRAEL REYES ABARCA LUIS ALFREDO QUICHIMBO ARMIJOS	<b>ESCALA:</b> 1 / 700	<b>1 / 1</b>

## Anexo 2.

### Características Técnicas del Transmisor de Presión Eco-1.

#### Specifications

<b>Input</b>	
10-30 VDC (14-30 VDC for 0-10V output signal)	
<b>Output &amp; load limitations</b>	
4-20 mA 2-wire	$R_{(max)} = (V_s - 10V)/0.02 A$ $R_{(min)} = > 5 k Ohms$
0-10 V, 1-5 V, or 1-6 V 3-wire	
<b>Accuracy</b>	
Linearity (B.F.S.L.):	≤ 0.5% of span
Hysteresis:	≤ 0.1% of span
Repeatability:	≤ 0.1% of span
1 yr. stability:	≤ 0.3% of span
Response time:	≤ 5 ms (10-90% full scale)

<b>Temperature</b>	
Effective temperature compensation	+32 °F to 176 °F
Media	-40 °F to 212 °F
Ambient	-22 °F to 176 °F
Storage	-22 °F to 212 °F
<b>Temperature error</b>	
On zero (% of span/18 °F)	≤ 0.4
On span (% of span/18 °F)	≤ 0.3

<b>Process connection</b>	
1/4" NPT male (G1/4 BSP male)	
{other connections available}	

<b>Electrical connection</b>	
DIN 43650 solderless screw terminal (NEMA 5 / IP 65)	
{5 foot vented cable with free ends} (NEMA 4 / IP 67)	

<b>Material</b>	
Wetted parts	316 stainless steel below 300 PSI 316 stainless steel and PH17-4 ss
Body material	304 stainless steel

<b>Transmitting liquid</b>	
Synthetic oil < 300 PSI {Fluorocarbon oil for oxygen service}	
none used in ranges ≥ 300 PSI	

<b>Electrical protection</b>	
Protected against reverse polarity, short circuit, and overvoltage	

<b>Shock and Vibration</b> (per DIN IEC 68-2)	
Shock:	500g, 1 ms
Vibration:	10g, 60-2000 Hz

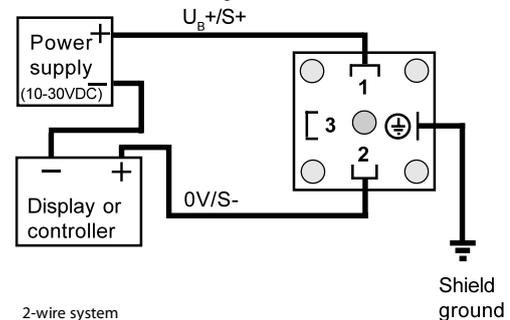
<b>CE Conformity</b>	
Interference emissions per EN 50 081-1 and -2	
Interference immunity per EN 50 082-2	

Notes: Items in curved brackets { } are available on special order.



#### Wiring

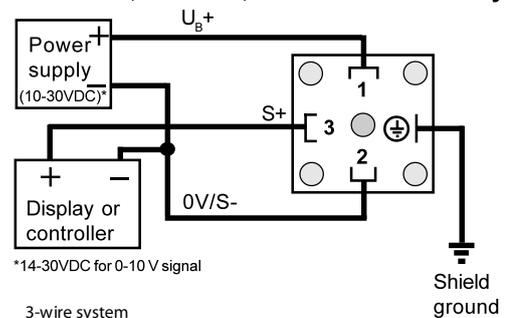
##### 4-20 mA 2 wire system



2-wire system

Wire	Coding	DIN Plug	Wire Color
Supply +	$U_B+ / S+$	pin 1	brown
Signal -	$0V / S-$	pin 2	green

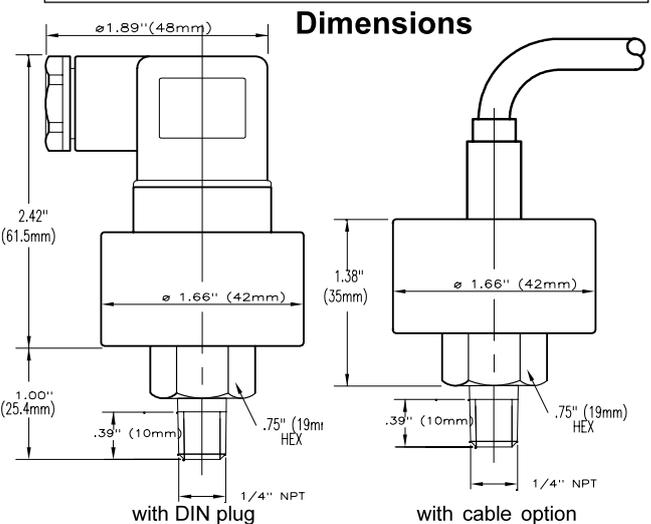
##### 0-10 VDC, 0-5 VDC, or 1-6 VDC 3 wire system



\*14-30VDC for 0-10 V signal

3-wire system

Wire	Coding	DIN Plug	Wire Color
Supply +	$U_B+$	pin 1	brown
Supply - Signal -	$0V / S-$	pin 2	green
Signal +	$S+$	pin 3	white



## Anexo 3.

### Características Técnicas del Transmisor de Caudal DCT7088

#### 1.4 Ordering

The table below describes ordering information for a standard DCT7088 flowmeter as well as available options.

MODEL NUMBER	
Series: Digital Correlation Transit Time Flowmeters	
DCT7088 = DCT7088, RS232 digital interface with UltraScan signal analysis and configuration program	
<b>Battery Duration</b>	
1 = 8 hours <sup>1</sup>	2 = 16 hours
<b>Transducer Cable Length</b>	
16A = 16 ft. (5 m) <sup>1</sup>	XXXXA = increments of 10 ft. (3 m) up to 1000 ft. (305 m)
<b>Additional Options</b>	
0704/0188 =	Ultrasonic Thickness Gauge (UTG), English units
0704/0187 =	UTG, metric units
22334-0001 =	Thermal printer kit
Typical Model Number: DCT7088-1-B-16A	
<sup>1</sup> standard	

TABLE 1: ORDERING INFORMATION

#### 1.5 Technical Specifications

##### 1.5.1 Performance

<b>Flow Range</b>	0 to 40 ft./sec. (0 to 12 m/sec.)
<b>Accuracy</b>	±1.0% of velocity or ±0.10 ft./sec. (±0.03 m/sec.), typical, whichever is greater
<b>Sensitivity</b>	0.001 ft./sec. (0.3 mm/sec.) at any flow rate, including zero
<b>Linearity</b>	±0.1% of scale, digital output
<b>Pipe Size</b>	1 to 200 in. (25 mm to 5 m)
<b>Fluid</b>	Homogeneous liquids without gas bubbles

## ..... Specifications

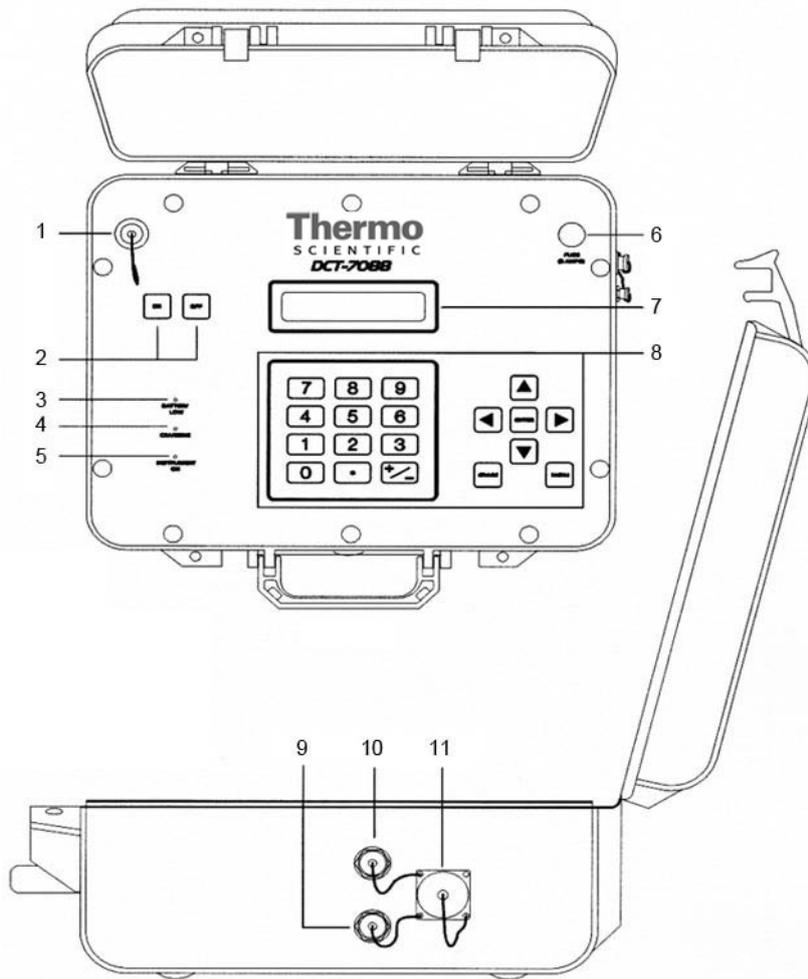
### 1.5.2 Functional

<b>Outputs</b>	4-20 mA (into 1000 ohms), 12-bit, isolated, loop- or self- powered; RS232 serial interface
<b>Power Supply</b>	Built-in lead acid gel battery providing 8 hours continuous operation <i>Optional:</i> 16 hours continuous operation
<b>Keypad</b>	19-key with tactile action
<b>Display</b>	40-character, 2-line, alphanumeric, backlit LCD
<b>Data Logger</b>	40,0000 points, time stamped; programmable in 1-second intervals
<b>Programming</b>	Via UltraScan utility (supplied with flowmeter) OR integral keypad
<b>Temperature Range</b>	<i>Transducers:</i> -40°F to +212°F (-40°C to +100°C) <i>Optional – High temperature transducers available</i> <i>Transmitter:</i> -5°F to +140°F (-20°C to +60°C)

### 1.5.3 Physical

<b>Transmitter</b>	NEMA 6 (IP67), waterproof against accidental immersion; splashproof with lid open
<b>Transducers</b>	Encapsulated design with standard 16 ft (5 m) cable length
<b>Weight</b>	Approximately 11 lb. (4.9 kg) with 8-hour battery Approximately 15 lb. (6.8 kg) with 16-hour battery

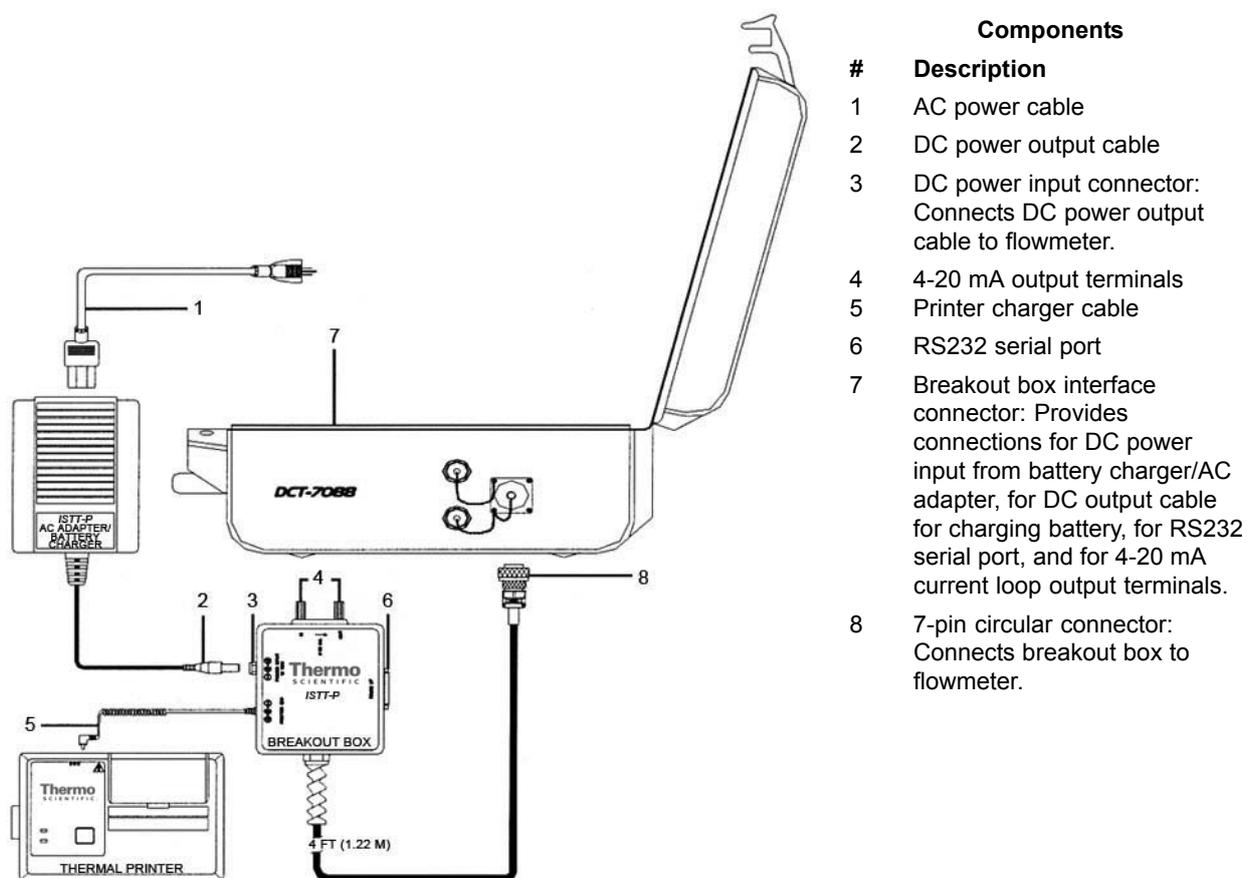
## 1.6 External Features



#	Components	Description
1	Printer port:	Provides output for optional external thermal printer. Connects to special cable which has 3-pin round connector on flowmeter end and DB9 connector on printer end.
2	ON/OFF keys	
3	<i>Battery Low</i> light:	Activates after approximately 7 or 14 hours of operation (depending on battery type). Automatic shutdown after approximately 1 additional hour.
4	<i>Charging</i> light	
5	<i>Instrument on</i> light	
6	Fuse: 3-A, 250 V.	Protects flowmeter from battery overcurrent or short circuits
7	Liquid crystal display (LCD):	Displays configuration selections, flow rate, totalized flow, etc.
8	Keypad:	Use to enter configuration parameters and control flowmeter functions.
9	Downstream transducer connector	
10	Upstream transducer connector	
11	Breakout box interface connector:	Connects flowmeter to breakout box.

FIGURE 1.6

## 1.7 Breakout Box Components



#	Description
1	AC power cable
2	DC power output cable
3	DC power input connector: Connects DC power output cable to flowmeter.
4	4-20 mA output terminals
5	Printer charger cable
6	RS232 serial port
7	Breakout box interface connector: Provides connections for DC power input from battery charger/AC adapter, for DC output cable for charging battery, for RS232 serial port, and for 4-20 mA current loop output terminals.
8	7-pin circular connector: Connects breakout box to flowmeter.

FIGURE 1.7

## Anexo 4. Características Técnicas del PIC 18f2550



# MICROCHIP PIC18F2455/2550/4455/4550

## 28/40/44-Pin High-Performance, Enhanced Flash USB Microcontrollers with nanoWatt Technology

### Universal Serial Bus Features:

- USB V2.0 Compliant
- Low Speed (1.5 Mb/s) and Full Speed (12 Mb/s)
- Supports Control, Interrupt, Isochronous and Bulk Transfers
- Supports up to 32 endpoints (16 bidirectional)
- 1-Kbyte dual access RAM for USB
- On-chip USB transceiver with on-chip voltage regulator
- Interface for off-chip USB transceiver
- Streaming Parallel Port (SPP) for USB streaming transfers (40/44-pin devices only)

### Power-Managed Modes:

- Run: CPU on, peripherals on
- Idle: CPU off, peripherals on
- Sleep: CPU off, peripherals off
- Idle mode currents down to 5.8  $\mu$ A typical
- Sleep mode currents down to 0.1  $\mu$ A typical
- Timer1 oscillator: 1.1  $\mu$ A typical, 32 kHz, 2V
- Watchdog Timer: 2.1  $\mu$ A typical
- Two-Speed Oscillator Start-up

### Flexible Oscillator Structure:

- Four Crystal modes including High Precision PLL for USB
- Two External Clock modes, up to 48 MHz
- Internal oscillator block:
  - 8 user-selectable frequencies, from 31 kHz to 8 MHz
  - User-tunable to compensate for frequency drift
- Secondary oscillator using Timer1 @ 32 kHz
- Dual oscillator options allow microcontroller and USB module to run at different clock speeds
- Fail-Safe Clock Monitor
  - Allows for safe shutdown if any clock stops

### Peripheral Highlights:

- High-current sink/source 25 mA/25 mA
- Three external interrupts
- Four Timer modules (Timer0 to Timer3)
- Up to 2 Capture/Compare/PWM (CCP) modules:
  - Capture is 16-bit, max. resolution 6.25 ns ( $T_{CY}/16$ )
  - Compare is 16-bit, max. resolution 100 ns ( $T_{CY}$ )
  - PWM output: PWM resolution is 1 to 10-bit
- Enhanced Capture/Compare/PWM (ECCP) module:
  - Multiple output modes
  - Selectable polarity
  - Programmable dead time
  - Auto-Shutdown and Auto-Restart
- Enhanced USART module:
  - LIN bus support
- Master Synchronous Serial Port (MSSP) module supporting 3-wire SPI™ (all 4 modes) and I<sup>2</sup>C™ Master and Slave modes
- 10-bit, up to 13-channels Analog-to-Digital Converter module (A/D) with programmable acquisition time
- Dual analog comparators with input multiplexing

### Special Microcontroller Features:

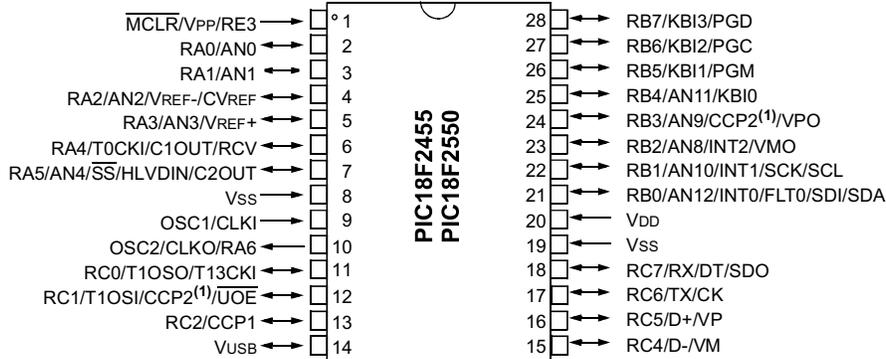
- C compiler optimized architecture with optional extended instruction set
- 100,000 erase/write cycle Enhanced Flash program memory typical
- 1,000,000 erase/write cycle Data EEPROM memory typical
- Flash/Data EEPROM Retention: > 40 years
- Self-programmable under software control
- Priority levels for interrupts
- 8 x 8 Single-Cycle Hardware Multiplier
- Extended Watchdog Timer (WDT):
  - Programmable period from 41 ms to 131s
- Programmable Code Protection
- Single-Supply 5V In-Circuit Serial Programming™ (ICSP™) via two pins
- In-Circuit Debug (ICD) via two pins
- Optional dedicated ICD/ICSP port (44-pin devices only)
- Wide operating voltage range (2.0V to 5.5V)

Device	Program Memory		Data Memory		I/O	10-bit A/D (ch)	CCP/ECCP (PWM)	SPP	MSSP		EUSART	Comparators	Timers 8/16-bit
	Flash (bytes)	# Single-Word Instructions	SRAM (bytes)	EEPROM (bytes)					SPI™	Master I <sup>2</sup> C™			
PIC18F2455	24K	12288	2048	256	24	10	2/0	No	Y	Y	1	2	1/3
PIC18F2550	32K	16384	2048	256	24	10	2/0	No	Y	Y	1	2	1/3
PIC18F4455	24K	12288	2048	256	35	13	1/1	Yes	Y	Y	1	2	1/3
PIC18F4550	32K	16384	2048	256	35	13	1/1	Yes	Y	Y	1	2	1/3

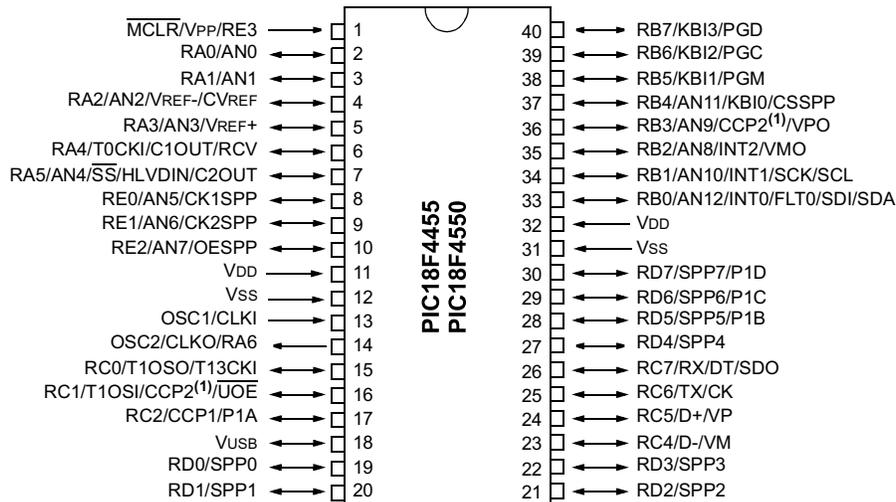
# PIC18F2455/2550/4455/4550

## Pin Diagrams

### 28-Pin PDIP, SOIC



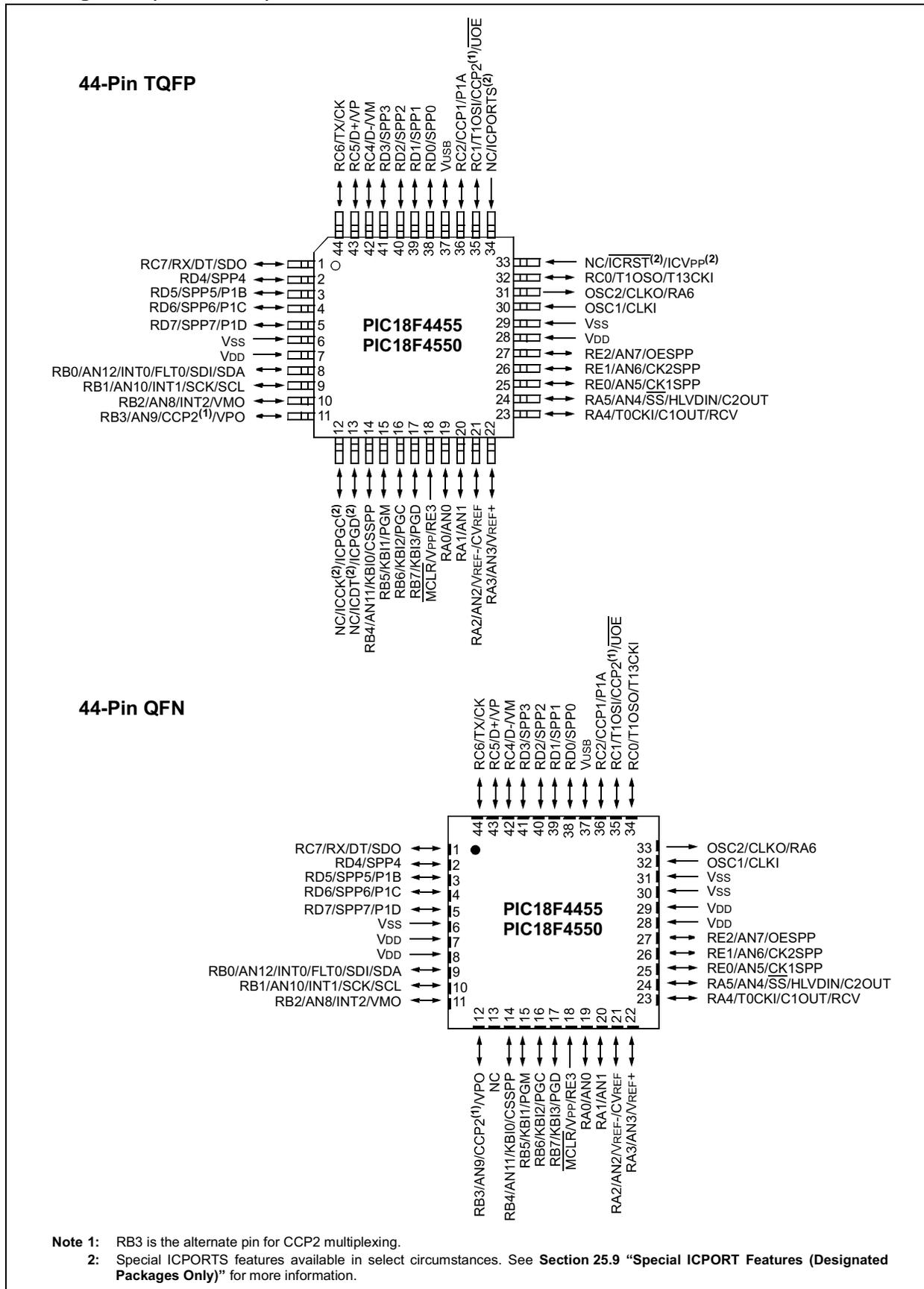
### 40-Pin PDIP



**Note 1:** RB3 is the alternate pin for CCP2 multiplexing.

# PIC18F2455/2550/4455/4550

## Pin Diagrams (Continued)



## 1.0 DEVICE OVERVIEW

This document contains device specific information for the following devices:

- PIC18F2455
- PIC18F2550
- PIC18F4455
- PIC18F4550
- PIC18LF2455
- PIC18LF2550
- PIC18LF4455
- PIC18LF4550

This family of devices offers the advantages of all PIC18 microcontrollers – namely, high computational performance at an economical price – with the addition of high endurance, Enhanced Flash program memory. In addition to these features, the PIC18F2455/2550/4455/4550 family introduces design enhancements that make these microcontrollers a logical choice for many high-performance, power sensitive applications.

## 1.1 New Core Features

### 1.1.1 nanoWatt TECHNOLOGY

All of the devices in the PIC18F2455/2550/4455/4550 family incorporate a range of features that can significantly reduce power consumption during operation. Key items include:

- **Alternate Run Modes:** By clocking the controller from the Timer1 source or the internal oscillator block, power consumption during code execution can be reduced by as much as 90%.
- **Multiple Idle Modes:** The controller can also run with its CPU core disabled but the peripherals still active. In these states, power consumption can be reduced even further, to as little as 4% of normal operation requirements.
- **On-the-fly Mode Switching:** The power-managed modes are invoked by user code during operation, allowing the user to incorporate power-saving ideas into their application's software design.
- **Low Consumption in Key Modules:** The power requirements for both Timer1 and the Watchdog Timer are minimized. See **Section 28.0 "Electrical Characteristics"** for values.

### 1.1.2 UNIVERSAL SERIAL BUS (USB)

Devices in the PIC18F2455/2550/4455/4550 family incorporate a fully featured Universal Serial Bus communications module that is compliant with the USB Specification Revision 2.0. The module supports both low-speed and full speed communication for all supported data transfer types. It also incorporates its own on-chip transceiver and 3.3V regulator and supports the use of external transceivers and voltage regulators.

### 1.1.3 MULTIPLE OSCILLATOR OPTIONS AND FEATURES

All of the devices in the PIC18F2455/2550/4455/4550 family offer twelve different oscillator options, allowing users a wide range of choices in developing application hardware. These include:

- Four Crystal modes using crystals or ceramic resonators.
- Four External Clock modes, offering the option of using two pins (oscillator input and a divide-by-4 clock output) or one pin (oscillator input, with the second pin reassigned as general I/O).
- An internal oscillator block which provides an 8 MHz clock ( $\pm 2\%$  accuracy) and an INTRC source (approximately 31 kHz, stable over temperature and  $V_{DD}$ ), as well as a range of 6 user selectable clock frequencies, between 125 kHz to 4 MHz, for a total of 8 clock frequencies. This option frees an oscillator pin for use as an additional general purpose I/O.
- A Phase Lock Loop (PLL) frequency multiplier, available to both the high-speed crystal and external oscillator modes, which allows a wide range of clock speeds from 4 MHz to 48 MHz.
- Asynchronous dual clock operation, allowing the USB module to run from a high-frequency oscillator while the rest of the microcontroller is clocked from an internal low-power oscillator.

Besides its availability as a clock source, the internal oscillator block provides a stable reference source that gives the family additional features for robust operation:

- **Fail-Safe Clock Monitor:** This option constantly monitors the main clock source against a reference signal provided by the internal oscillator. If a clock failure occurs, the controller is switched to the internal oscillator block, allowing for continued low-speed operation or a safe application shutdown.
- **Two-Speed Start-up:** This option allows the internal oscillator to serve as the clock source from Power-on Reset, or wake-up from Sleep mode, until the primary clock source is available.

# PIC18F2455/2550/4455/4550

---

## 1.2 Other Special Features

- **Memory Endurance:** The Enhanced Flash cells for both program memory and data EEPROM are rated to last for many thousands of erase/write cycles – up to 100,000 for program memory and 1,000,000 for EEPROM. Data retention without refresh is conservatively estimated to be greater than 40 years.
- **Self-Programmability:** These devices can write to their own program memory spaces under internal software control. By using a bootloader routine, located in the protected Boot Block at the top of program memory, it becomes possible to create an application that can update itself in the field.
- **Extended Instruction Set:** The PIC18F2455/2550/4455/4550 family introduces an optional extension to the PIC18 instruction set, which adds 8 new instructions and an Indexed Literal Offset Addressing mode. This extension, enabled as a device configuration option, has been specifically designed to optimize re-entrant application code originally developed in high-level languages such as C.
- **Enhanced CCP Module:** In PWM mode, this module provides 1, 2 or 4 modulated outputs for controlling half-bridge and full-bridge drivers. Other features include auto-shutdown for disabling PWM outputs on interrupt or other select conditions and auto-restart to reactivate outputs once the condition has cleared.
- **Enhanced Addressable USART:** This serial communication module is capable of standard RS-232 operation and provides support for the LIN bus protocol. Other enhancements include Automatic Baud Rate Detection and a 16-bit Baud Rate Generator for improved resolution. When the microcontroller is using the internal oscillator block, the EUSART provides stable operation for applications that talk to the outside world without using an external crystal (or its accompanying power requirement).
- **10-bit A/D Converter:** This module incorporates programmable acquisition time, allowing for a channel to be selected and a conversion to be initiated, without waiting for a sampling period and thus, reducing code overhead.
- **Dedicated ICD/ICSP Port:** These devices introduce the use of debugger and programming pins that are not multiplexed with other microcontroller features. Offered as an option in select packages, this feature allows users to develop I/O intensive applications while retaining the ability to program and debug in the circuit.

## 1.3 Details on Individual Family Members

Devices in the PIC18F2455/2550/4455/4550 family are available in 28-pin and 40/44-pin packages. Block diagrams for the two groups are shown in Figure 1-1 and Figure 1-2.

The devices are differentiated from each other in six ways:

1. Flash program memory (24 Kbytes for PIC18FX455 devices, 32 Kbytes for PIC18FX550).
2. A/D channels (10 for 28-pin devices, 13 for 40/44-pin devices).
3. I/O ports (3 bidirectional ports and 1 input only port on 28-pin devices, 5 bidirectional ports on 40/44-pin devices).
4. CCP and Enhanced CCP implementation (28-pin devices have 2 standard CCP modules, 40/44-pin devices have one standard CCP module and one ECCP module).
5. Streaming Parallel Port (present only on 40/44-pin devices).

All other features for devices in this family are identical. These are summarized in Table 1-1.

The pinouts for all devices are listed in Table 1-2 and Table 1-3.

Like all Microchip PIC18 devices, members of the PIC18F2455/2550/4455/4550 family are available as both standard and low-voltage devices. Standard devices with Enhanced Flash memory, designated with an “F” in the part number (such as PIC18F2550), accommodate an operating VDD range of 4.2V to 5.5V. Low-voltage parts, designated by “LF” (such as PIC18LF2550), function over an extended VDD range of 2.0V to 5.5V.

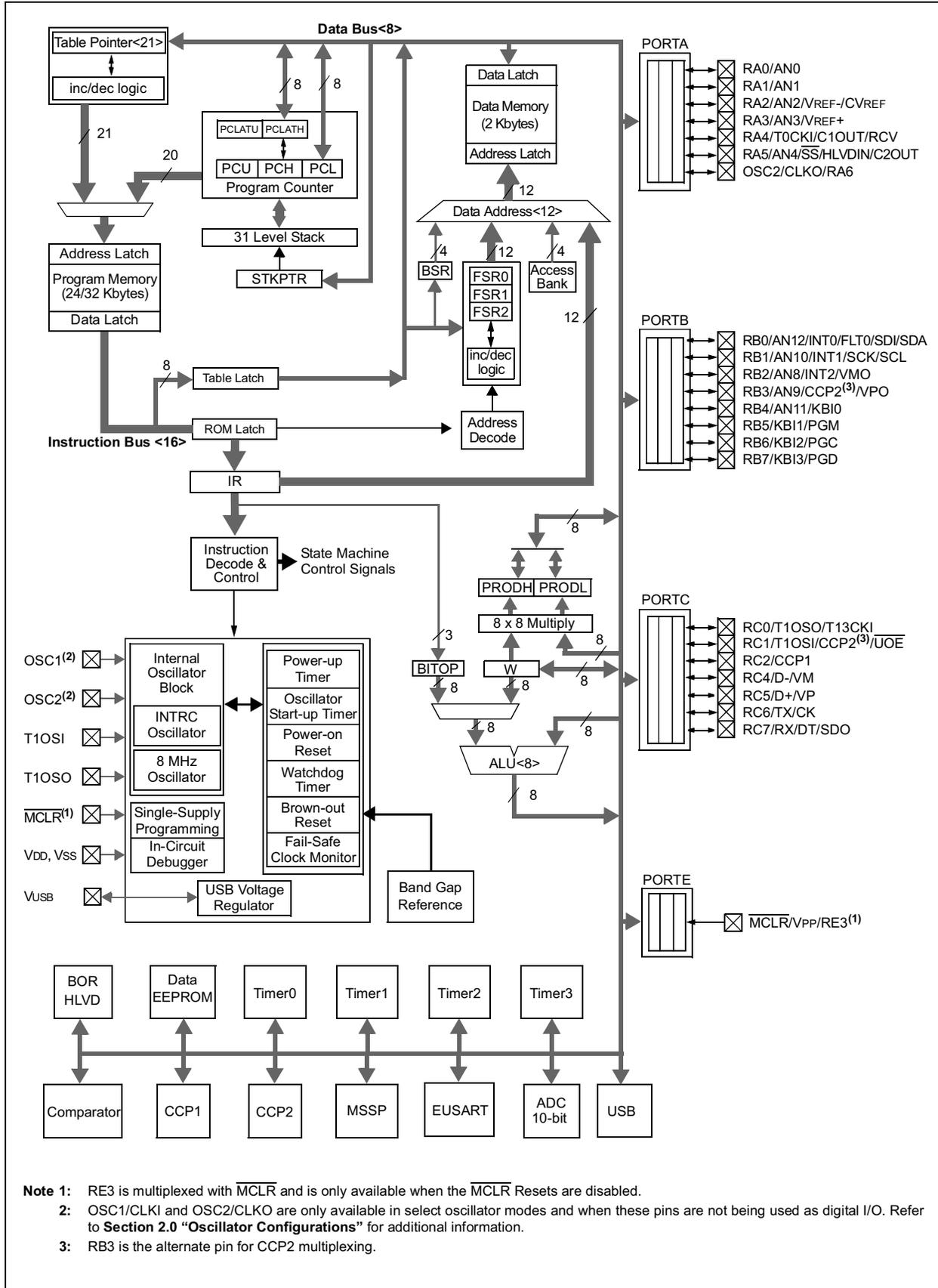
# PIC18F2455/2550/4455/4550

**TABLE 1-1: DEVICE FEATURES**

Features	PIC18F2455	PIC18F2550	PIC18F4455	PIC18F4550
Operating Frequency	DC – 48 MHz			
Program Memory (Bytes)	24576	32768	24576	32768
Program Memory (Instructions)	12288	16384	12288	16384
Data Memory (Bytes)	2048	2048	2048	2048
Data EEPROM Memory (Bytes)	256	256	256	256
Interrupt Sources	19	19	20	20
I/O Ports	Ports A, B, C, (E)	Ports A, B, C, (E)	Ports A, B, C, D, E	Ports A, B, C, D, E
Timers	4	4	4	4
Capture/Compare/PWM Modules	2	2	1	1
Enhanced Capture/ Compare/PWM Modules	0	0	1	1
Serial Communications	MSSP, Enhanced USART	MSSP, Enhanced USART	MSSP, Enhanced USART	MSSP, Enhanced USART
Universal Serial Bus (USB) Module	1	1	1	1
Streaming Parallel Port (SPP)	No	No	Yes	Yes
10-bit Analog-to-Digital Module	10 Input Channels	10 Input Channels	13 Input Channels	13 Input Channels
Comparators	2	2	2	2
Resets (and Delays)	POR, BOR, RESET Instruction, Stack Full, Stack Underflow (PWRT, OST), MCLR (optional), WDT			
Programmable Low-Voltage Detect	Yes	Yes	Yes	Yes
Programmable Brown-out Reset	Yes	Yes	Yes	Yes
Instruction Set	75 Instructions; 83 with Extended Instruction Set enabled			
Packages	28-pin PDIP 28-pin SOIC	28-pin PDIP 28-pin SOIC	40-pin PDIP 44-pin QFN 44-pin TQFP	40-pin PDIP 44-pin QFN 44-pin TQFP

# PIC18F2455/2550/4455/4550

FIGURE 1-1: PIC18F2455/2550 (28-PIN) BLOCK DIAGRAM



## Anexo 5. Características Técnicas del Modem GPRS

SkyPatrol TT8750 Users Guide  
Revision 1.00



### 5. Product Specifications

System Requirements		Application Interface	
L x W x H:	86.6 x 63 x 25.6 mm (Excluding connectors)	• Host Protocols:	PPP, AT, UDP, TCP/IP
Housing:	Plastic	• Internal Protocols:	UDP (PAD), TCP(PAD)
TX Power:	Class 4 (2W @850/900 MHz) Class 1 (1W @1800/1900 MHz)	• API Control/Status:	AT or UDP(PAD), CMUX
Slot Class:	MS10(4RX/2TX, 5 MAX)	• Friend's IP Feature	
		• Auto-Registration software upon power-up	
		• Over the air commands for:	
		- I/O Control	- Status Change Reporting
		- GPS TX Interval	- GPS Content
		- Binary Reporting	- Event Reporting
		- Timed Reporting	- Distance Reporting
		- Alarm Reporting	- Geo-Fencing
		- Max Speed	- Virtual Odometer
Band Operation		SIM Card / Interface / I/O	
GSM2338 (850/900/1800/1900)		• FAKRA Blue Coding C Antenna Connector for 3.3 Vdc GPS	
		• External SIM accessible via end cap	
		• 2.5mm Audio connection/1 Audio Input/Output	
		• FAKRA Bordeaux Violet Coding D Antenna Connector for GSM	
		• 3 Pin I/O – 2 Input/Outputs, 1 Output	
		3 LED Status indicators	
		1 Ignition Sense	
GPRS Packet Data		Environment	
Mode:	Class B, Multislot 10 Certified	Operating:	-30°C to +70°C
Protocol:	GPRS Release 97, SMG 31	Spec. Compliant:	-20°C to +60°C
Coding Schemes:	CS1 – CS4	Storage:	-40°C to +85°C
Packet Channel:	PBCCH/PCCCH	Humidity:	Up to 95% non-condensing
		Note:	If the SkyPatrol TT8750 is equipped with a battery, the battery should only be charged between 0 and 45 degrees Celsius
GSM Functionality		Status Indicator	
Voice:	Full Rate, Enhanced full rate and half rate, AMR (GSM2338)	• Power ON/GPS Power	
CS Data:	Asynchronous, transparent and non transparent up to 9.6 KB	• Registration Status/User Defined 1	
GSM SMS:	Text, PDU, MO/MT, Cell broadcast	• GPS Status	
Certification (Pending)		Power	
GSM2338		DC Voltage:	7 - 40 VDC
FCC:	Parts 15, 22, & 24	SkyPatrol TT8750 2338 @ 13.8V	Avg Peak
GCF:	2.21.1	BAND	MODE (mA) (A) @ (dBm)
PTCRB:	3.7.1	GSM 850&	1TX/1RX 390 0.600 @ 32.5
Industry Canada		900	1RX 180
CE Mark			Idle 65
Emark		GSM 1800&	1TX/1RX 400 0.570 @ 30.0
RoHS Compliant		1900	1RX 190
			Idle 55
GPS Functionality		Part Number	
• FAKRA Blue Coding C Antenna Connector for GPS		GSM2338 –01	SkyPatrol TT8750 without battery
• Supports 3.3V Active Antenna		GSM2338-00	SkyPatrol TT8750 with battery
• GPS Protocols: NMEA, SkyPatrol binary			
• Stored GPS Messages Feature			

## 6. Procedures

### 6.1. SkyPatrol TT8750 Panel Descriptions

#### 1. Front View

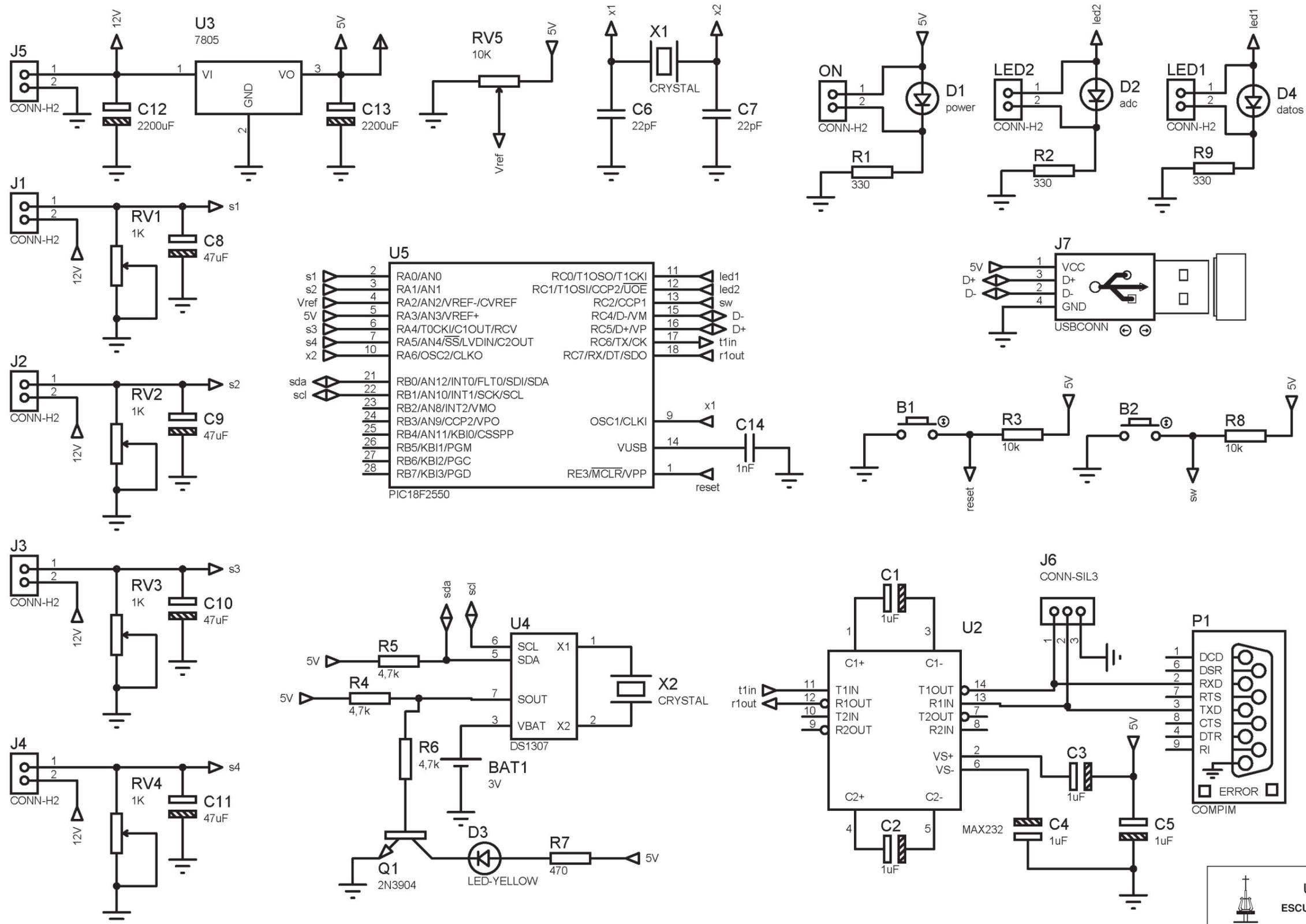


Figure 1 – SkyPatrol TT8750 Front View

#### 2. Rear View



Figure 2 – SkyPatrol TT8750 Rear View



**PROYECTO:** DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE MONITOREO REMOTODE VARIABLES HIDRÁULICAS DE LA RED DE AGUA POTABLE DE LA UTPL, UTILIZANDO LA PLATAFORMA GPRS.

**CONTIENE:** DISEÑO ELECTRÓNICO - MÓDULO DE PROCESAMIENTO

**DISEÑO:** FERNANDO ISRAEL REYES ABARCA  
LUIS ALFREDO QUICHIMBO ARMIJOS

## Anexo 7.

### Características Técnicas del Circuito Integrado Max-232

## +5V-Powered, Multichannel RS-232 Drivers/Receivers

### ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS—MAX220/222/232A/233A/242/243

Supply Voltage ( $V_{CC}$ )	-0.3V to +6V	20-Pin Plastic DIP (derate 8.00mW/°C above +70°C)	..440mW
Input Voltages		16-Pin Narrow SO (derate 8.70mW/°C above +70°C)	..696mW
$T_{IN}$	-0.3V to ( $V_{CC} - 0.3V$ )	16-Pin Wide SO (derate 9.52mW/°C above +70°C)	.....762mW
$R_{IN}$ (Except MAX220)	.....±30V	18-Pin Wide SO (derate 9.52mW/°C above +70°C)	.....762mW
$R_{IN}$ (MAX220)	.....±25V	20-Pin Wide SO (derate 10.00mW/°C above +70°C)	.....800mW
$T_{OUT}$ (Except MAX220) (Note 1)	.....±15V	20-Pin SSOP (derate 8.00mW/°C above +70°C)	.....640mW
$T_{OUT}$ (MAX220)	.....±13.2V	16-Pin CERDIP (derate 10.00mW/°C above +70°C)	.....800mW
Output Voltages		18-Pin CERDIP (derate 10.53mW/°C above +70°C)	.....842mW
$T_{OUT}$	.....±15V	Operating Temperature Ranges	
$R_{OUT}$	-0.3V to ( $V_{CC} + 0.3V$ )	MAX2__AC__, MAX2__C__	.....0°C to +70°C
Driver/Receiver Output Short Circuited to GND	.....Continuous	MAX2__AE__, MAX2__E__	.....-40°C to +85°C
Continuous Power Dissipation ( $T_A = +70°C$ )		MAX2__AM__, MAX2__M__	.....-55°C to +125°C
16-Pin Plastic DIP (derate 10.53mW/°C above +70°C)	...842mW	Storage Temperature Range	.....-65°C to +160°C
18-Pin Plastic DIP (derate 11.11mW/°C above +70°C)	...889mW	Lead Temperature (soldering, 10sec)	.....+300°C

Note 1: Input voltage measured with  $T_{OUT}$  in high-impedance state,  $SHDN$  or  $V_{CC} = 0V$ .

Note 2: For the MAX220,  $V+$  and  $V-$  can have a maximum magnitude of 7V, but their absolute difference cannot exceed 13V.

Stresses beyond those listed under "Absolute Maximum Ratings" may cause permanent damage to the device. These are stress ratings only, and functional operation of the device at these or any other conditions beyond those indicated in the operational sections of the specification is not implied. Exposure to absolute maximum rating conditions for extended periods may affect device reliability.

### ELECTRICAL CHARACTERISTICS—MAX220/222/232A/233A/242/243

( $V_{CC} = +5V \pm 10\%$ ,  $C1-C4 = 0.1\mu F$ , MAX220,  $C1 = 0.047\mu F$ ,  $C2-C4 = 0.33\mu F$ ,  $T_A = T_{MIN}$  to  $T_{MAX}$ , unless otherwise noted.)

PARAMETER	CONDITIONS		MIN	TYP	MAX	UNITS
RS-232 TRANSMITTERS						
Output Voltage Swing	All transmitter outputs loaded with 3k $\Omega$ to GND		±5	±8		V
Input Logic Threshold Low				1.4	0.8	V
Input Logic Threshold High	All except MAX220		2	1.4		V
	MAX220: $V_{CC} = 5.0V$		2.4			
Logic Pull-Up/Input Current	All except MAX220, normal operation			5	40	$\mu A$
	$SHDN = 0V$ , MAX222/242, shutdown, MAX220			±0.01	±1	
Output Leakage Current	$V_{CC} = 5.5V$ , $SHDN = 0V$ , $V_{OUT} = \pm 15V$ , MAX222/242			±0.01	±10	$\mu A$
	$V_{CC} = SHDN = 0V$ , $V_{OUT} = \pm 15V$			±0.01	±10	
Data Rate	All except MAX220, normal operation			200	116	kb/s
Transmitter Output Resistance	$V_{CC} = V+ = V- = 0V$ , $V_{OUT} = \pm 2V$		300	10M		$\Omega$
Output Short-Circuit Current	$V_{OUT} = 0V$		±7	±22		mA
RS-232 RECEIVERS						
RS-232 Input Voltage Operating Range					±30	V
RS-232 Input Threshold Low	$V_{CC} = 5V$	All except MAX243 $R2_{IN}$	0.8	1.3		V
		MAX243 $R2_{IN}$ (Note 2)	-3			
RS-232 Input Threshold High	$V_{CC} = 5V$	All except MAX243 $R2_{IN}$		1.8	2.4	V
		MAX243 $R2_{IN}$ (Note 2)		-0.5	-0.1	
RS-232 Input Hysteresis	All except MAX243, $V_{CC} = 5V$ , no hysteresis in shdn.		0.2	0.5	1	V
	MAX243			1		
RS-232 Input Resistance			3	5	7	k $\Omega$
TTL/CMOS Output Voltage Low	$I_{OUT} = 3.2mA$			0.2	0.4	V
TTL/CMOS Output Voltage High	$I_{OUT} = -1.0mA$		3.5	$V_{CC} - 0.2$		V
TTL/CMOS Output Short-Circuit Current	Sourcing $V_{OUT} = GND$		-2	-10		mA
	Shrinking $V_{OUT} = V_{CC}$		10	30		

## +5V-Powered, Multichannel RS-232 Drivers/Receivers

### ELECTRICAL CHARACTERISTICS—MAX220/222/232A/233A/242/243 (continued)

( $V_{CC} = +5V \pm 10\%$ ,  $C1-C4 = 0.1\mu F$ , MAX220,  $C1 = 0.047\mu F$ ,  $C2-C4 = 0.33\mu F$ ,  $T_A = T_{MIN}$  to  $T_{MAX}$ , unless otherwise noted.)

PARAMETER	CONDITIONS		MIN	TYP	MAX	UNITS
TTL/CMOS Output Leakage Current	SHDN = $V_{CC}$ or EN = $V_{CC}$ (SHDN = 0V for MAX222), $0V \leq V_{OUT} \leq V_{CC}$			±0.05	±10	μA
EN Input Threshold Low	MAX242			1.4	0.8	V
EN Input Threshold High	MAX242		2.0	1.4		V
Operating Supply Voltage			4.5		5.5	V
$V_{CC}$ Supply Current ( SHDN = $V_{CC}$ ), Figures 5, 6, 11, 19	No load	MAX220		0.5	2	mA
		MAX222/232A/233A/242/243		4	10	
	3kΩ load both inputs	MAX220		12		
		MAX222/232A/233A/242/243		15		
Shutdown Supply Current	MAX222/242	$T_A = +25^\circ C$		0.1	10	μA
		$T_A = 0^\circ C$ to $+70^\circ C$		2	50	
		$T_A = -40^\circ C$ to $+85^\circ C$		2	50	
		$T_A = -55^\circ C$ to $+125^\circ C$		35	100	
SHDN Input Leakage Current	MAX222/242				±1	μA
SHDN Threshold Low	MAX222/242			1.4	0.8	V
SHDN Threshold High	MAX222/242		2.0	1.4		V
Transition Slew Rate	$C_L = 50pF$ to $2500pF$ , $R_L = 3k\Omega$ to $7k\Omega$ , $V_{CC} = 5V$ , $T_A = +25^\circ C$ , measured from +3V to -3V or -3V to +3V	MAX222/232A/233A/242/243	6	12	30	V/μs
		MAX220	1.5	3	30	
Transmitter Propagation Delay TLL to RS-232 (normal operation), Figure 1	t <sub>PHLT</sub>	MAX222/232A/233A/242/243		1.3	3.5	μs
		MAX220		4	10	
	t <sub>PLHT</sub>	MAX222/232A/233A/242/243		1.5	3.5	
		MAX220		5	10	
Receiver Propagation Delay RS-232 to TLL (normal operation), Figure 2	t <sub>PHLR</sub>	MAX222/232A/233A/242/243		0.5	1	μs
		MAX220		0.6	3	
	t <sub>PLHR</sub>	MAX222/232A/233A/242/243		0.6	1	
		MAX220		0.8	3	
Receiver Propagation Delay RS-232 to TLL (shutdown), Figure 2	t <sub>PHLS</sub>	MAX242		0.5	10	μs
	t <sub>PLHS</sub>	MAX242		2.5	10	
Receiver-Output Enable Time, Figure 3	t <sub>ER</sub>	MAX242		125	500	ns
Receiver-Output Disable Time, Figure 3	t <sub>DR</sub>	MAX242		160	500	ns
Transmitter-Output Enable Time (SHDN goes high), Figure 4	t <sub>ET</sub>	MAX222/242, 0.1μF caps (includes charge-pump start-up)		250		μs
Transmitter-Output Disable Time (SHDN goes low), Figure 4	t <sub>DT</sub>	MAX222/242, 0.1μF caps		600		ns
Transmitter + to - Propagation Delay Difference (normal operation)	t <sub>PHLT</sub> - t <sub>PLHT</sub>	MAX222/232A/233A/242/243		300		ns
		MAX220		2000		
Receiver + to - Propagation Delay Difference (normal operation)	t <sub>PHLR</sub> - t <sub>PLHR</sub>	MAX222/232A/233A/242/243		100		ns
		MAX220		225		

Note 3: MAX243 R2<sub>OUT</sub> is guaranteed to be low when R2<sub>IN</sub> is ≥ 0V or is floating.

MAX220-MAX249

## Anexo 8.

### Características Técnicas del Circuito Integrado DS1307



DS1307

64 x 8 Serial Real-Time Clock

www.maxim-ic.com

#### FEATURES

- Real-time clock (RTC) counts seconds, minutes, hours, date of the month, month, day of the week, and year with leap-year compensation valid up to 2100
- 56-byte, battery-backed, nonvolatile (NV) RAM for data storage
- Two-wire serial interface
- Programmable squarewave output signal
- Automatic power-fail detect and switch circuitry
- Consumes less than 500nA in battery backup mode with oscillator running
- Optional industrial temperature range: -40°C to +85°C
- Available in 8-pin DIP or SOIC
- Underwriters Laboratory (UL) recognized

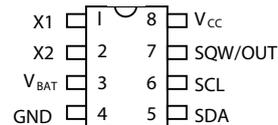
#### ORDERING INFORMATION

DS1307	8-Pin DIP (300-mil)
DS1307Z	8-Pin SOIC (150-mil)
DS1307N	8-Pin DIP (Industrial)
DS1307ZN	8-Pin SOIC (Industrial)

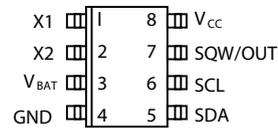
#### DESCRIPTION

The DS1307 Serial Real-Time Clock is a low-power, full binary-coded decimal (BCD) clock/calendar plus 56 bytes of NV SRAM. Address and data are transferred serially via a 2-wire, bi-directional bus. The clock/calendar provides seconds, minutes, hours, date, month, and year information. The end of the month date is automatically adjusted for months with fewer than 31 days, including corrections for leap year. The clock operates in either the 24-hour or 12-hour format with AM/PM indicator. The DS1307 has a built-in power sense circuit that detects power failures and automatically switches to the battery supply.

#### PIN ASSIGNMENT



DS1307 8-Pin DIP (300-mil)



DS1307 8-Pin SOIC (150-mil)

#### PIN DESCRIPTION

V <sub>CC</sub>	- Primary Power Supply
X1, X2	- 32.768kHz Crystal Connection
V <sub>BAT</sub>	- +3V Battery Input
GND	- Ground
SDA	- Serial Data
SCL	- Serial Clock
SQW/OUT	- Square Wave/Output Driver

## Anexo 9. Código Fuente.

```
*****
* Name      : UNTITLED.BAS *
* Author    : Luis Alfredo Quichimbo *
* Notice    : Copyright (c) 2011 [select VIEW...EDITOR OPTIONS] *
*           : All Rights Reserved *
* Date      : 09/12/2011 *
* Version   : 1.0 *
* Notes     : Sistema de monitoreo remoto de presiones *
*           : y caudales UTPL (promedio, instant, maximos y min)*
*****
INCLUDE "modedefs.bas"
INCLUDE "fp18.bas" 'Include file for most 14-bit core PICmicros (24bit)
DEFINE OSC 48
DEFINE LOADER_USED 1 'si se usa bootloader
DEFINE RESET_ORG 1000h ' For Microchip USB Bootloader
DEFINE I2C_SLOW 1 'Use for >8MHz OSC with standard speed devices
DEFINE I2C_SCLOUT 1 ;No es necesario resistencia pull-up en SCL
DEFINE SER2_BITS 8 'Set number of data bits for Serin2 and Serout2
DEFINE ADC_BITS 10 ' Set number of bits in result
DEFINE ADC_CLOCK 6 ' Set clock source Fosc/64 => TAD => 1.34uS
DEFINE ADC_SAMPLEUS 50 ' Set sampling time in uS
TRISB = %11111111 'Todo el puerto B como entradas
TRISA = %11111111 'Todo el puerto A como entradas
ADCON1 = %00110110 'Todas analógicas con AN3(Vref+) y AN2(Vref-)
ADCON2 = %10101110
        'bit 0-2: ADCS ,OVERWRITTEN BY ADC_CLOCK, 110: Fosc/64=>TAD=>1.34uS
        'bit 3-5: Aquisition time: 101: 12 TAD => 16uS
        'bit 6: not used
        'bit 7: Right justify for 10-bit
***** inicialización de alias *****
LED1 VAR PORTc.0 'Adquisición de datos
LED2 VAR PORTc.1 'Envío de datos MODEM
CPIN VAR Portb.1 ;pin señal de reloj I2C
DPIN VAR Portb.0 ;pin de datos I2C
***** inicialización de variables *****
ANIO VAR BYTE 'variable anio
MES VAR BYTE 'variable mes
DIAM VAR BYTE 'variable dia mes
DIAS VAR BYTE 'variable dia semana
s VAR BYTE 'variable segundos
m VAR BYTE 'variable minutos
h VAR BYTE 'variable horas
FLAG VAR WORD: AUX VAR BYTE: i VAR BYTE
D1 VAR WORD: D2 VAR WORD: D3 VAR WORD: D4 VAR WORD
MAX1 VAR WORD: MAX2 VAR WORD: MAX3 VAR WORD: MAX4 VAR WORD
MIN1 VAR WORD: MIN2 VAR WORD: MIN3 VAR WORD: MIN4 VAR WORD
CONV1 VAR WORD: CONV2 VAR WORD: CONV3 VAR WORD: CONV4 VAR WORD
INST1 VAR WORD: INST2 VAR WORD: INST3 VAR WORD: INST4 VAR WORD
DATO1 VAR WORD: DATO2 VAR WORD: DATO3 VAR WORD: DATO4 VAR WORD
DATO1p VAR WORD: DATO2p VAR WORD: DATO3p VAR WORD: DATO4p VAR WORD
SENSOR1 VAR WORD: SENSOR2 VAR WORD: SENSOR3 VAR WORD: SENSOR4 VAR WORD
AUXMAX1 VAR WORD: AUXMAX2 VAR WORD: AUXMAX3 VAR WORD: AUXMAX4 VAR WORD
AUXMIN1 VAR WORD: AUXMIN2 VAR WORD: AUXMIN3 VAR WORD: AUXMIN4 VAR WORD
*****
```

```

***** definición de constantes *****
ESTACION CON 1      ' ingresar el número de estación
MUESTRAS CON 360    ' constante num de muestras
CONST1 CON 2061     ' factor conversión a presión mca * 10000 INPUT1
CONST2 CON 2061     ' factor conversión a presión mca * 10000 INPUT2
CONST3 CON 1953     ' factor conversión a caudal lt/s * 10000 INPUT3
CONST4 CON 156      ' factor conversión a corriente ma * 10000 INPUT4
*****
***** inicialización de variables
LOW LED1:          LOW LED2
FLAG = 1:          AUX = 0:          i = 0
D1 = 0:            D2 = 0:            D3 = 0:            D4 = 0
DATO1 = 0:         DATO2 = 0:         DATO3 = 0:         DATO4 = 0
DATO1p = 0:        DATO2p = 0:        DATO3p = 0:        DATO4p = 0
SENSOR1 = 0:       SENSOR2 = 0:       SENSOR3 = 0:       SENSOR4 = 0
AUXMAX1 = 0:       AUXMAX2 = 0:       AUXMAX3 = 0:       AUXMAX4 = 0
AUXMIN1 = 1023:    AUXMIN2 = 1023:    AUXMIN3 = 1023:    AUXMIN4 = 1023
PAUSE 5000
'preparo el puerto de salida del pic para evitar incongruencias
SEROUT2 PORTC.6,84,[" ",13,10]
'**** comprobar si el RTC sigue igualado e ir a igualarlo *****
I2CREAD DPIN,CPIN,%11010001,6,[ANIO]
'serout2 PORTC.6,84,["iniciando año= ",hex2 año,13,10]
IF (ANIO == 0) THEN GOSUB igualar
'*****espera segundos=10 y min=0 para iniciar*****
espera:
    I2CREAD DPIN,CPIN,%11010001,0,[s] 'leer los datos de mem. 0, seg RTC

    I2CREAD DPIN,CPIN,%11010001,1,[m]
    IF (s == $10) AND (m == $0) THEN GOTO inicio
    ' if (s == $1) THEN goto inicio
    PAUSE 500
'serout2 PORTC.6,84,["estamos en el min ",hex2 m," con seg ",hex2 s,13,10]
GOTO espera
'*****programa principal*****
inicio:
    I2CREAD DPIN,CPIN,%11010001,0,[s] ;leer los datos de mem. 0,

    IF ((s // $10) == 0) THEN
    ' IF ((s // $1) == 0) then
        I2CREAD DPIN,CPIN,%11010001,1,[m] ;1,2,..y guardarlos en sus
        I2CREAD DPIN,CPIN,%11010001,2,[h] ;respectivas variables
        I2CREAD DPIN,CPIN,%11010001,3,[DIAs]
        I2CREAD DPIN,CPIN,%11010001,4,[DIAm]
        I2CREAD DPIN,CPIN,%11010001,5,[MES]
        I2CREAD DPIN,CPIN,%11010001,6,[ANIO]
        GOSUB DATOS_ADC 'a la subrutina de captura datos
        GOSUB MAX_MIN
        IF (FLAG >= MUESTRAS) THEN
            FLAG = 0: AUX = i: i = 0
            D1 = DATO1p: D2 = DATO2p: D3 = DATO3p: D4 = DATO4p
            GOSUB PROMEDIO_DATOS
'serout2 PORTC.6,84,["luego promedio dato1=",dec5 dato1," aux= ",dec3 aux,
13,10]

```

```
        GOSUB CONV_PROM
        GOSUB CONV_INST
        GOSUB CONV_MAX
        GOSUB CONV_MIN
        GOSUB ENVIO_DATOS
    ENDIF
'serout2 PORTC.6,84,["por fin ",hex2 h,":",hex2 m,":",hex2 s,13,10]
    FLAG = FLAG + 1
    ENDIF
    PAUSE 500
    LOW LED1
    LOW LED2
GOTO inicio

'subrutina de adquisición de datos señal de voltaje
DATOS_ADC:
    HIGH LED1      'Indicador de recepción de datos
    ADCIN 0, SENSOR1
    ADCIN 1, SENSOR2
    ADCIN 4, SENSOR4
    ADCIN 8, SENSOR3
    PAUSE 500
    D1 = D1 + SENSOR1
    D2 = D2 + SENSOR2
    D3 = D3 + SENSOR3
    D4 = D4 + SENSOR4
    IF ((FLAG // 60) == 0) THEN
        AUX = 60
        GOSUB PROMEDIO_DATOS
        DATO1p = DATO1p + DATO1
        DATO2p = DATO2p + DATO2
        DATO3p = DATO3p + DATO3
        DATO4p = DATO4p + DATO4
        i = i + 1
'serout2 PORTC.6,84,["promedio_datos flag//60 dato1p= ",dec4 dato1p, " i=
",dec2 i,13,10]
    ENDIF
'serout2 PORTC.6,84,["datos_adc flag=",dec3 flag," sens1=",dec4 sensor1,"
d1=",dec5 d1,13,10]
RETURN

'subrutina para encontrar los maximos y minimos
MAX_MIN:
    'canal 1
    IF (SENSOR1 >= AUXMAX1) THEN
        MAX1 = SENSOR1
        AUXMAX1 = MAX1
    ENDIF
    IF (SENSOR1 < AUXMIN1) THEN
        MIN1 = SENSOR1
        AUXMIN1 = MIN1
    ENDIF
    'canal 2
    IF (SENSOR2 >= AUXMAX2) THEN
```

```
        MAX2 = SENSOR2
        AUXMAX2 = MAX2
    ENDIF
    IF (SENSOR2 < AUXMIN2) THEN
        MIN2 = SENSOR2
        AUXMIN2 = MIN2
    ENDIF
    'canal 3
    IF (SENSOR3 >= AUXMAX3) THEN
        MAX3 = SENSOR3
        AUXMAX3 = MAX3
    ENDIF
    IF (SENSOR3 < AUXMIN3) THEN
        MIN3 = SENSOR3
        AUXMIN3 = MIN3
    ENDIF
    'canal 4
    IF (SENSOR4 >= AUXMAX4) THEN
        MAX4 = SENSOR4
        AUXMAX4 = MAX4
    ENDIF
    IF (SENSOR4 < AUXMIN4) THEN
        MIN4 = SENSOR4
        AUXMIN4 = MIN4
    ENDIF
RETURN

'subrutina de promedio de datos
PROMEDIO_DATOS:
    'datos canal 1
    aint = D1
    GOSUB itofa      'guardo D1 en aint como punto flotante
    bint = AUX
    GOSUB itofb      'guardo AUX en bint como punto flotante
    GOSUB fpdiv      'divido aint/bint ==> D1/MUESTRAS
    GOSUB ftoa       'convierto de punto flotante a entero
    D1 = aint        'guardo la división nuevamente en DATO1
    'datos canal 2
    aint = D2
    GOSUB itofa      'guardo D2 en aint como punto flotante
    bint = AUX
    GOSUB itofb      'guardo AUX en bint como punto flotante
    GOSUB fpdiv      'divido aint/bint ==> D2/MUESTRAS
    GOSUB ftoa       'convierto de punto flotante a entero
    D2 = aint        'guardo la división nuevamente en DATO2
    'datos canal 3
    aint = D3
    GOSUB itofa      'guardo D3 en aint como punto flotante
    bint = AUX
    GOSUB itofb      'guardo AUX en bint como punto flotante
    GOSUB fpdiv      'divido aint/bint ==> D3/MUESTRAS
    GOSUB ftoa       'convierto de punto flotante a entero
    D3 = aint        'guardo la división nuevamente en DATO3
    'datos canal 4
```

```
aint = D4
GOSUB itofa      'guardo D4 en aint como punto flotante
bint = AUX
GOSUB itofb      'guardo AUX en bint como punto flotante
GOSUB fpdiv      'divido aint/bint ==> D4/MUESTRAS
GOSUB ftoia      'convierto de punto flotante a entero
D4 = aint        'guardo la división nuevamente en DATO4
DATO1 = D1: DATO2 = D2: DATO3 = D3: DATO4 = D4
D1 = 0: D2 = 0: D3 = 0: D4 = 0 'reinicio variables
```

**RETURN**

CONV\_PROM:

```
CONV1 = DATO1: CONV2 = DATO2: CONV3 = DATO3: CONV4 = DATO4
GOSUB CONV_CH1
GOSUB CONV_CH2
GOSUB CONV_CH3
GOSUB CONV_CH4
DATO1p = DATO1: DATO2p = DATO2: DATO3p = DATO3: DATO4p = DATO4
```

**RETURN**

CONV\_INST:

```
CONV1 = SENSOR1: CONV2 = SENSOR2: CONV3 = SENSOR3: CONV4 = SENSOR4
GOSUB CONV_CH1
GOSUB CONV_CH2
GOSUB CONV_CH3
GOSUB CONV_CH4
INST1 = DATO1: INST2 = DATO2: INST3 = DATO3: INST4 = DATO4
```

**RETURN**

CONV\_MAX:

```
CONV1 = MAX1: CONV2 = MAX2: CONV3 = MAX3: CONV4 = MAX4
GOSUB CONV_CH1
GOSUB CONV_CH2
GOSUB CONV_CH3
GOSUB CONV_CH4
MAX1 = DATO1: MAX2 = DATO2: MAX3 = DATO3: MAX4 = DATO4
```

**RETURN**

CONV\_MIN:

```
CONV1 = MIN1: CONV2 = MIN2: CONV3 = MIN3: CONV4 = MIN4
GOSUB CONV_CH1
GOSUB CONV_CH2
GOSUB CONV_CH3
GOSUB CONV_CH4
MIN1 = DATO1: MIN2 = DATO2: MIN3 = DATO3: MIN4 = DATO4
```

**RETURN**

*'convertir niveles a presión del canal 1*

CONV\_CH1:

```
aint = CONST1
GOSUB itofa      'guardo CONST1 en aint como punto flotante
bint = 10000
GOSUB itofb      'guardo 10000 en bint como punto flotante
```

```
GOSUB fpdiv 'convertir CONST1 en punto flotante con 4 decimales
bint = CONV1
GOSUB itofb
GOSUB fpmul 'multiplico aint*bint ==> (0,20611)*DATO1p
bint = 100
GOSUB itofb
GOSUB fpmul 'multiplico el resultado por 100, en rx hay que dividir
'para obtener nuevamente los 2 decimales

GOSUB ftoia
DATO1 = aint
```

**RETURN**

*'convertir niveles a presión canal 2*

```
CONV_CH2:
  aint = CONST2
  GOSUB itofa 'guardo CONST2 en aint como punto flotante
  bint = 10000
  GOSUB itofb 'guardo 10000 en bint como punto flotante
  GOSUB fpdiv 'convertir CONST2 en punto flotante con 4 decimales
  bint = CONV2
  GOSUB itofb
  GOSUB fpmul 'multiplico aint*bint ==> (0,20611)*DATO2p
  bint = 100
  GOSUB itofb
  GOSUB fpmul 'multiplico el resultado por 100, el rx hay que dividir
'para obtener nuevamente los 2 decimales

  GOSUB ftoia
  DATO2 = aint
```

**RETURN**

*'convertir niveles a corriente canal 3*

```
CONV_CH3:
  aint = CONST3
  GOSUB itofa 'guardo CONST3 en aint como punto flotante
  bint = 10000
  GOSUB itofb 'guardo 10000 en bint como punto flotante
  GOSUB fpdiv 'convertir CONST3 en punto flotante con 4 decimales
  bint = CONV3
  GOSUB itofb
  GOSUB fpmul 'multiplico aint*bint ==> (0,01563)*DATO3p
  bint = 4
  gosub itofb
  gosub fpadd 'adiciona aint+bint ==> ((0,01563)*DATO3p)+4
  bint = 100
  GOSUB itofb
  GOSUB fpmul 'multiplico el resultado por 100, el rx hay que dividir
'para obtener nuevamente los 2 decimales

  GOSUB ftoia 'convierto de punto flotante a entero
  DATO3 = aint
```

**RETURN**

*'convertir niveles a corriente canal 4*

```
CONV_CH4:
  aint = CONST4
```

```
GOSUB itofa      'guardo CONST4 en aint como punto flotante
bint = 10000
GOSUB itofb      'guardo 100000 en bint como punto flotante
GOSUB fpdiv      'convertir CONST4 en punto flotante con 4 decimales
bint = CONV4
GOSUB itofb
GOSUB fpmul      'multiplico aint*bint ==> (0,01563)*DATO4p
bint = 4
GOSUB itofb
GOSUB fpadd      'adiciona aint+bint ==> ((0,01563)*DATO4p)+4
bint = 100
GOSUB itofb
GOSUB fpmul      'multiplico el resultado por 100, el rx hay que dividir
                  'para obtener nuevamente los 2 decimales
GOSUB ftoaia     'convierto de punto flotante a entero
DATO4 = aint
RETURN

ENVIO_DATOS:
  HIGH LED2
  'SEROUT2 PORTC.6,84,["ER1,",sdec aint,13,10]
  'SEROUT2 PORTC.6,84,["ER1,",hex2 dias,",",hex2 anio,",",hex2 mes,",",hex2
  diam,","]
  'SEROUT2 PORTC.6,84,[hex2 h,",",hex2 m,",",hex2 s,",",DEC5 DATO1P,",",dec5
  DATO2P,",",dec5 DATO3P,",",dec5 DATO4P,"#",13,10]
  SEROUT2 PORTC.6,84,["AT$MSGsnd=4,",34,"#ER",DEC2 ESTACION,",",HEX2
  ANIO]
  SEROUT2 PORTC.6,84,["",HEX2 MES,",",HEX2 DIAM]
  SEROUT2 PORTC.6,84,["",HEX2 h,",",HEX2 m,",",HEX2 s,",",DEC5 DATO1p]
  SEROUT2 PORTC.6,84,["",DEC5 INST1,",",DEC5 MAX1,",",DEC5 MIN1]
  SEROUT2 PORTC.6,84,["",DEC5 DATO2p,",",DEC5 INST2,",",DEC5 MAX2]
  SEROUT2 PORTC.6,84,["",DEC5 MIN2,",",DEC5 DATO3p,",",DEC5 INST3]
  SEROUT2 PORTC.6,84,["",DEC5 MAX3,",",DEC5 MIN3,",",DEC5 DATO4p]
  SEROUT2 PORTC.6,84,["",DEC5 INST4,",",DEC5 MAX4,",",DEC5 MIN4]
  SEROUT2 PORTC.6,84,["#",34,13,10]
  DATO1 = 0:    DATO2 = 0:    DATO3 = 0:    DATO4 = 0
  DATO1p = 0:  DATO2p = 0:  DATO3p = 0:  DATO4p = 0
  AUXMAX1 = 0:  AUXMAX2 = 0:  AUXMAX3 = 0:  AUXMAX4 = 0
  AUXMIN1 = 1023: AUXMIN2 = 1023: AUXMIN3 = 1023: AUXMIN4 = 1023
  MAX1 = 0:    MAX2 = 0:    MAX3 = 0:    MAX4 = 0
  MIN1 = 0:    MIN2 = 0:    MIN3 = 0:    MIN4 = 0

RETURN

igualar:
  TOGGLE LED1
  TOGGLE LED2
  PAUSE 500
RETURN
```

## Anexo 10. Código Fuente para igualar el reloj DS1307

```

'*****
'* Name      : igualar_reloj.BAS                      *
'* Author    : Luis Alfredo Quichimbo e Israel Reyes  *
'* Notice    : Copyright (c) 2011 [select VIEW...EDITOR OPTIONS] *
'*           : All Rights Reserved                    *
'* Date      : 25/08/2011                             *
'* Version   : 1.0                                     *
'* Notes     : código para igualar reloj RTC          *
'*           :                                         *
'*****

'Include "bs2defs.bas"
INCLUDE "modedefs.bas"
DEFINE I2C_SCLOUT 1 ;No es necesario resistencia pull-up en SCL
DEFINE OSC 48
DEFINE LOADER_USED 1
DEFINE RESET_ORG 1000h ' For Microchip USB Bootloader
DEFINE I2C_SLOW 1 'Use for >8MHZ OSC with standard speed devices
DEFINE SER2_BITS 8 'Set number of data bits for Serin2 and Serout2

CPIN VAR Portb.1 ;pin señal de reloj I2C
DPIN VAR Portb.0 ;pin de datos I2C
ANIO VAR BYTE 'variable anio
MES VAR BYTE 'variable mes
DIAm VAR BYTE 'variable dia mes
DIAs VAR BYTE 'variable dia semana
s VAR BYTE 'variable segundos
m VAR BYTE 'variable minutos
h VAR BYTE 'variable horas
ch CON %101
LED1 VAR portc.0
LED2 VAR portc.1
PAUSE 5000

grabarRTC:
' *****modificar variables, sin eliminar el "$"*****
ANIO = $11
MES = $11
DIAm = $23
DIAs = $4
h = $21
m = $02
s = $00
' *****
HIGH LED1
HIGH LED2
IF ANIO == 0 THEN
    GOTO grabarRTC
'
    pause 1000
    LOW LED1
    LOW LED2
ELSE
    I2CWRITE DPIN,CPIN,%11010000,0,[s] ;setear 00 segundos
    PAUSE 10 ;retardo para finalizar grabación

```

```

I2CWRITE DPIN,CPIN,%11010000,1,[m]      ;setear 30 minutos
PAUSE 10
I2CWRITE DPIN,CPIN,%11010000,2,[h]      ;setear las 13 horas
PAUSE 10
I2CWRITE DPIN,CPIN,%11010000,3,[DIAS]   ;setear día lunes ,D=1,L=2
PAUSE 10                               ;M=3 , M=4, J=5, V=6, S=7
I2CWRITE DPIN,CPIN,%11010000,4,[DIAM]   ;setear día 27 del mes
PAUSE 10
I2CWRITE DPIN,CPIN,%11010000,5,[MES]    ;setear mes septiembre
PAUSE 50
I2CWRITE DPIN,CPIN,%11010000,6,[ANIO]   ;setear año 04
PAUSE 10
I2CWRITE DPIN,CPIN,%11010000,7,[$10]   ;control %00010000 para
PAUSE 10                               ;encender el led cada 1 seg.
ENDIF
GOTO inicio

inicio:
TOGGLE LED2
TOGGLE LED1
PAUSE 1000
TOGGLE LED2
TOGGLE LED1
GOTO inicio

```

## Anexo 11. Características Técnicas del Caudalímetro ABB Magmaster

### Data Sheet

SS/MAG/WW Issue 20

### Electromagnetic Flowmeter MagMaster – Water & Waste Water Version

- Industry-specific design
  - suitable for all applications found in the water and waste water industries
- Widest flow range, highest accuracy
  - diameters from 15mm to 2200mm (0.5 to 84 in.)
- Submersible sensor
  - suitable for flooded chambers and pits
- Buriable sensor
  - eliminates chambers and ensures fast, low-cost installation
- Hazardous area approvals
  - FM, CSA, ATEX
  - ideal for waste water treatment works
- Built-in earthing (grounding) electrode
  - eliminates the need for earthing (grounding) flanges
- 2-year warranty as standard
  - high-quality product guarantees reliable maintenance-free operation
- CalMaster compatible
  - in situ verification of flow meter calibration
- Remote communications
  - including Profibus DP v0



MagMaster – bringing unsurpassed flowmetering performance to the Water and Waste Water industries

The ABB logo, consisting of the letters 'ABB' in a bold, red, sans-serif font.

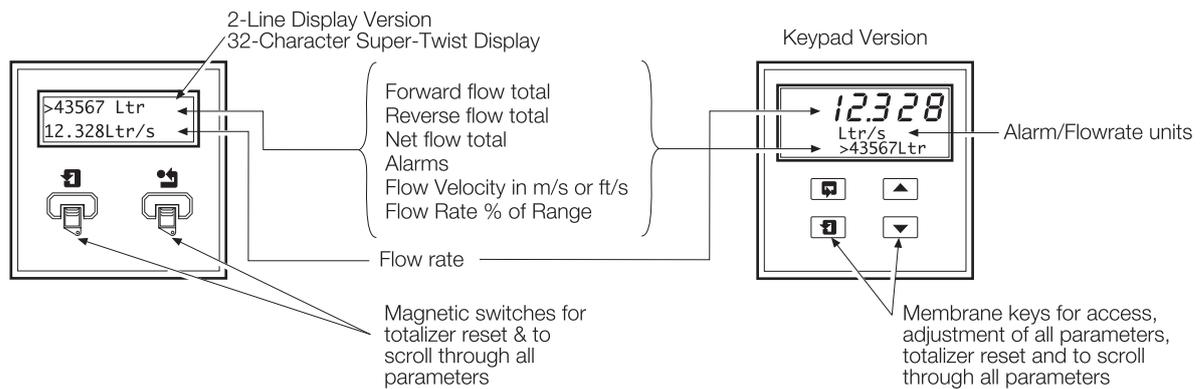
## Electronic Display Unit

- Comprehensive display
- Forward, reverse and net totals
- 4 digital outputs: forward pulse, reverse pulse, alarm 1 and alarm 2
- 2 analog outputs (output 2 optional)
- Communications: serial data (RS232), HART and Profibus DP v0

MagMaster is available with integral or remote transmitters, configuration is achieved either with a configurator or via the optional integral keypad. The software features multi-level password protection to prevent unauthorized configuration changes. In the 2-line display only variant, display data can only be changed using a magnetic wand, no operational parameters can be changed without the use of a configurator and appropriate passwords.



Wallmount Version



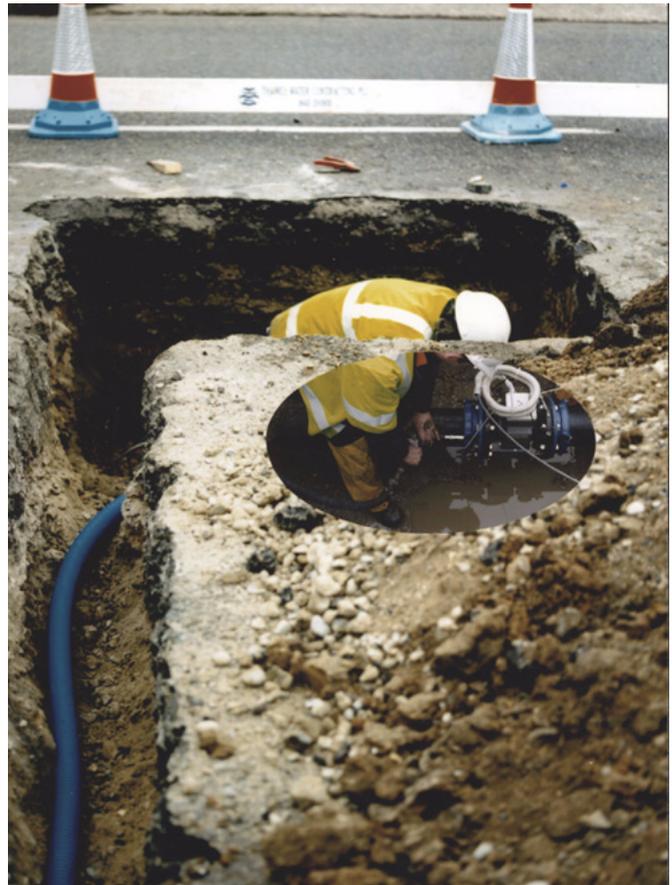
## Programming Options

- Local hand-held configurator or (for example Psion Workabout)
- Integral keypad
- HART
- Personal computer

### Easy, Low-cost Installation

MagMaster sensors' rugged and robust construction ensure a long, maintenance-free life under the arduous conditions experienced in the water and waste water industry. The sensors are fully submersible, meeting the requirements of IP68 (NEMA6P) enabling installation in flooded chambers or metering pits.

MagMaster sensors in all sizes are buryable. Installation merely involves excavating to the underground pipe, fitting the sensor, cabling back to the transmitter and then backfilling the hole. No metering chambers or pits are required so the installation is simple, fast and low cost.



Underground Installation of MagMaster

### International Approvals

Alternative versions of MagMaster are available for general locations with FM Approval and for Hazardous Area locations to ATEX, FM and CSA Standards. A brief summary of these Hazardous Area versions is given below, covering the safety designation inside the pipe. No external safety barriers are required.

SENSOR	INSIDE PIPE	TRANSMITTER LOCATION
FM & CSA HAZARDOUS AREA APPROVAL – CLASS 1, DIV. 2, GROUPS A B C D		
FM APPROVED	INTRINSICALLY SAFE ELECTRODES	REMOTE ONLY IN HAZARDOUS AREA
CSA CERTIFIED		REMOTE ONLY IN HAZARDOUS AREA
CSA CERTIFIED	NON INCENDIVE	INTEGRAL AND REMOTE IN HAZARDOUS AREA
ATEX — II 2 (i) G EEx e m ia IIC T4		
ZONE 1	ZONE 0	REMOTE TRANSMITTER IN SAFE AREA

## Specification

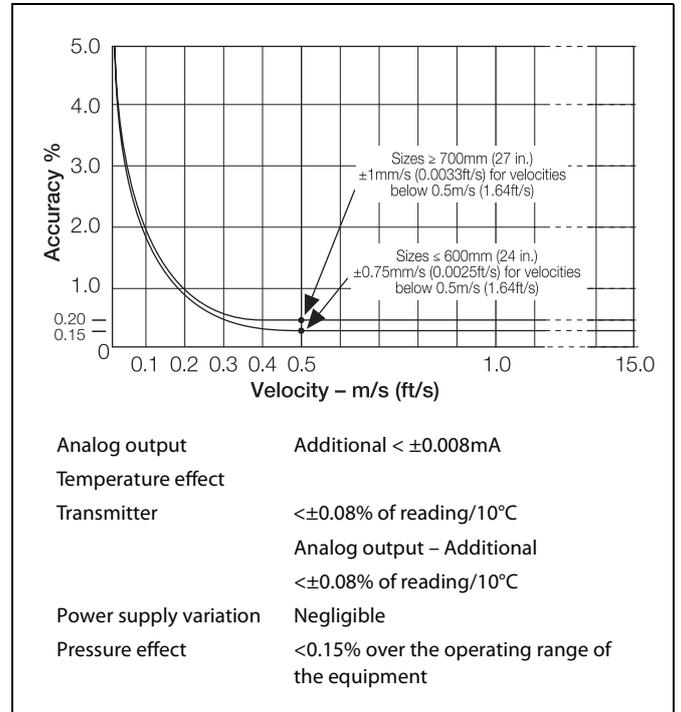
### Sensor

#### Sizes

Sizes mm (in.)	Flow Range	
	Minimum	Maximum*
	m <sup>3</sup> /h (US g/min)	m <sup>3</sup> /h (US g/min)
15 (0.6)	0.005 (0.021)	6 (28)
20 (0.8)	0.009 (0.038)	11 (50)
25 (1)	0.014 (0.059)	17 (77)
40 (1.6)	0.035 (0.15)	45 (197)
50 (2)	0.053 (0.23)	71 (311)
65 (2.5)	0.089 (0.40)	119 (525)
80 (3)	0.136 (0.59)	181 (796)
100 (4)	0.21 (0.94)	283 (1243)
150 (6)	0.47 (2.10)	640 (2797)
200 (8)	0.84 (3.73)	1130 (4974)
250 (10)	1.32 (5.83)	1770 (7771)
300 (12)	1.91 (8.4)	2540 (11190)
350 (14)	2.60 (11)	3460 (15230)
400 (16)	3.39 (15)	4520 (19890)
450 (18)	4.29 (19)	5730 (25180)
500 (20)	5.3 (23)	7070 (31090)
600 (24)	7.6 (33)	10180 (44760)
700 (28)	14 (46)	13850 (60920)
760 (30)	16 (52)	15900 (69930)
800 (31)	18 (60)	18100 (79560)
900 (35)	23 (75)	22900 (100700)
1000 (39)	28 (93)	28300 (124300)
1050 (41)	31 (112)	34200 (150400)
1200 (47)	41 (134)	40700 (179000)
1400 (55)	55 (182)	55400 (243700)
1500 (59)	64 (208)	63600 (279700)
1600 (63)	72 (238)	72400 (318300)
1800 (71)	92 (302)	91600 (402800)
2000 (79)	113 (372)	113100 (497400)
2200 (87)	136 (451)	137000 (602000)

\* Based on 10ms<sup>-1</sup> (33fts<sup>-1</sup>), but instrument capability in excess of 15ms<sup>-1</sup> (50fts<sup>-1</sup>)

#### Accuracy (under forward flow reference conditions)



## Anexo 12. Base de Datos

ESTACION	DIA_SEM	FECHA	HORA	DATO_P1	DATO_I1	DATO_P2	DATO_I2	DATO_P3	DATO_I3	DATO_P4	DATO_I4
ER1	4	2011-11-02	13:00:00	69,45	71,1	69,04	70,68	4	4	4	4
ER1	4	2011-11-02	12:00:00	65,53	67,18	65,12	66,77	4	4	4	4
ER1	4	2011-11-02	11:00:00	72,13	65,12	71,72	64,71	4	4	4	4
ER1	4	2011-11-02	10:00:00	73,98	73,57	73,57	73,16	4	4	4	4
ER1	4	2011-11-02	09:00:00	74,6	74,4	74,19	73,98	4	4	4	4
ER1	4	2011-11-02	08:00:00	75,84	74,81	75,22	74,4	4	4	4	4
ER1	4	2011-11-02	07:00:00	76,66	76,46	76,25	75,84	4	4	4	4
ER1	4	2011-11-02	06:00:00	77,69	77,69	77,28	77,28	4	4	4	4
ER1	4	2011-11-02	05:00:00	77,28	77,49	76,87	76,87	4	4	4	4
ER1	4	2011-11-02	04:00:00	76,46	76,66	75,42	75,63	4	4	4	4
ER1	4	2011-11-02	03:00:00	77,08	77,28	76,66	77,08	4	4	4	4
ER1	4	2011-11-02	02:00:00	76,87	77,08	76,46	76,66	4	4	4	4
ER1	4	2011-11-02	01:00:00	75,42	75,63	74,6	74,81	4	4	4	4
ER1	4	2011-11-02	00:00:00	76,04	76,46	75,63	76,04	4	4	4	4
ER1	3	2011-11-01	23:00:00	74,19	74,81	73,36	73,98	4	4	4	4
ER1	3	2011-11-01	22:00:00	73,98	75,22	73,57	74,6	4	4	4	4
ER1	3	2011-11-01	21:00:00	73,36	73,78	72,95	73,36	4	4	4	4
ER1	3	2011-11-01	20:00:00	72,33	73,16	71,72	72,75	4	4	4	4
ER1	3	2011-11-01	19:00:00	71,3	71,3	70,48	70,48	4	4	4	4
ER1	3	2011-11-01	18:00:00	70,89	72,33	70,48	71,92	4	4	4	4
ER1	3	2011-11-01	15:00:00	62,65	63,27	61,82	62,65	4	4	4	4
ER1	3	2011-11-01	17:00:00	67,59	69,45	67,18	69,04	4	4	4	4
ER1	5	2011-11-03	09:00:00	71,51	71,92	70,68	71,1	4	4	4	4
ER1	5	2011-11-03	08:00:00	73,16	72,75	72,33	71,92	4	4	4	4
ER1	5	2011-11-03	07:00:00	75,22	74,6	74,81	73,98	4	4	4	4
ER1	5	2011-11-03	06:00:00	76,66	76,25	76,04	75,84	4	4	4	4
ER1	5	2011-11-03	05:00:00	76,25	76,46	75,84	76,04	4	4	4	4
ER1	5	2011-11-03	04:00:00	75,63	75,84	74,81	75,01	4	4	4	4
ER1	5	2011-11-03	03:00:00	76,04	76,25	75,63	75,84	4	4	4	4
ER1	5	2011-11-03	02:00:00	75,22	75,42	74,4	74,6	4	4	4	4
ER1	5	2011-11-03	01:00:00	75,22	75,22	74,19	74,4	4	4	4	4
ER1	5	2011-11-03	00:00:00	77,69	78,31	77,28	77,9	4	4	4	4
ER1	4	2011-11-02	23:00:00	76,46	76,87	76,04	76,46	4	4	4	4
ER1	4	2011-11-02	22:00:00	75,84	76,25	75,42	75,63	4	4	4	4
ER1	4	2011-11-02	21:00:00	75,84	76,25	75,42	75,84	4	4	4	4
ER1	4	2011-11-02	20:00:00	74,4	74,81	73,57	73,98	4	4	4	4
ER1	4	2011-11-02	19:00:00	74,81	75,01	74,4	74,6	4	4	4	4
ER1	4	2011-11-02	18:00:00	75,22	75,01	74,81	74,81	4	4	4	4
ER1	4	2011-11-02	17:00:00	74,19	74,19	73,36	73,36	4	4	4	4
ER1	4	2011-11-02	16:00:00	74,81	75,01	74,4	74,81	4	4	4	4
ER1	4	2011-11-02	14:00:00	72,13	73,57	71,72	73,16	4	4	4	4
ER1	4	2011-11-02	15:00:00	73,98	74,4	73,57	73,98	4	4	4	4
ER1	5	2011-11-03	11:00:00	73,57	73,78	72,75	72,95	4	4	4	4
ER1	5	2011-11-03	10:00:00	73,16	73,98	72,33	73,16	4	4	4	4
ER1	5	2011-11-03	12:00:00	73,36	73,36	72,54	72,54	4	4	4	4
ER1	5	2011-11-03	13:00:00	74,19	74,4	73,78	73,98	4	4	4	4
ER1	5	2011-11-03	14:00:00	74,6	74,4	74,19	73,98	4	4	4	4
ER1	5	2011-11-03	15:00:00	75,01	75,01	74,6	74,81	4	4	4	4
ER1	5	2011-11-03	16:00:00	74,81	75,01	74,4	74,6	4	4	4	4
ER1	5	2011-11-03	17:00:00	74,6	75,01	73,78	74,19	4	4	4	4
ER1	5	2011-11-03	18:00:00	75,63	75,84	75,22	75,42	4	4	4	4
ER1	5	2011-11-03	19:00:00	75,42	75,84	75,01	75,42	4	4	4	4
ER1	5	2011-11-03	20:00:00	74,81	75,01	73,98	74,19	4	4	4	4
ER1	5	2011-11-03	21:00:00	75,42	75,84	74,6	75,01	4	4	4	4
ER1	5	2011-11-03	22:00:00	76,66	76,87	76,25	76,46	4	4	4	4
ER1	5	2011-11-03	23:00:00	77,28	77,49	76,66	77,08	4	4	4	4
ER1	6	2011-11-04	00:00:00	77,08	77,49	76,25	76,46	4	4	4	4
ER1	6	2011-11-04	01:00:00	77,49	77,9	76,66	76,87	4	4	4	4
ER1	6	2011-11-04	02:00:00	77,9	78,31	77,08	77,49	4	4	4	4
ER1	6	2011-11-04	03:00:00	79,34	79,75	78,93	79,34	4	4	4	4
ER1	6	2011-11-04	04:00:00	79,75	80,16	79,34	79,55	4	4	4	4
ER1	6	2011-11-04	05:00:00	79,55	79,96	79,14	79,34	4	4	4	4
ER1	6	2011-11-04	06:00:00	78,93	78,52	78,1	77,69	4	4	4	4
ER1	6	2011-11-04	07:00:00	78,1	77,9	77,28	77,08	4	4	4	4

ER1	6	2011-11-04	08:00:00	77,9	77,28	77,28	76,87	4	4	4	4
ER1	6	2011-11-04	09:00:00	76,87	76,66	76,46	76,04	4	4	4	4
ER1	6	2011-11-04	10:00:00	75,42	75,01	74,6	74,19	4	4	4	4
ER1	6	2011-11-04	11:00:00	75,01	75,01	74,19	74,19	4	4	4	4
ER1	6	2011-11-04	12:00:00	75,42	75,84	75,01	75,42	4	4	4	4
ER1	6	2011-11-04	13:00:00	76,25	76,66	75,84	76,25	4	4	4	4
ER1	6	2011-11-04	14:00:00	76,66	76,46	76,25	76,25	4	4	4	4
ER1	6	2011-11-04	15:00:00	76,66	76,87	76,46	76,66	4	4	4	4
ER1	6	2011-11-04	16:00:00	75,63	76,04	75,22	75,42	4	4	4	4
ER1	6	2011-11-04	17:00:00	76,87	77,08	76,66	76,87	4	4	4	4
ER1	6	2011-11-04	18:00:00	76,66	77,08	76,66	76,87	4	4	4	4
ER1	6	2011-11-04	19:00:00	75,84	76,04	75,22	75,42	4	4	4	4
ER1	6	2011-11-04	20:00:00	76,66	76,46	76,25	76,25	4	4	4	4
ER1	6	2011-11-04	21:00:00	76,46	76,87	76,25	76,66	4	4	4	4
ER1	6	2011-11-04	22:00:00	76,87	77,49	76,66	77,08	4	4	4	4
ER1	6	2011-11-04	23:00:00	77,69	78,1	77,49	77,9	4	4	4	4
ER1	7	2011-11-05	00:00:00	78,31	78,72	78,1	78,52	4	4	4	4
ER1	7	2011-11-05	01:00:00	78,52	78,72	78,1	78,52	4	4	4	4
ER1	7	2011-11-05	02:00:00	78,31	78,52	77,49	77,69	4	4	4	4
ER1	7	2011-11-05	03:00:00	79,75	79,96	79,34	79,55	4	4	4	4
ER1	7	2011-11-05	04:00:00	78,93	79,14	78,1	78,31	4	4	4	4
ER1	7	2011-11-05	05:00:00	79,55	79,55	79,34	79,34	4	4	4	4
ER1	7	2011-11-05	06:00:00	79,34	78,93	79,14	78,72	4	4	4	4
ER1	7	2011-11-05	07:00:00	79,14	78,52	78,72	78,31	4	4	4	4
ER1	7	2011-11-05	08:00:00	78,1	77,69	77,9	77,49	4	4	4	4
ER1	7	2011-11-05	09:00:00	77,08	76,66	76,87	76,46	4	4	4	4
ER1	7	2011-11-05	10:00:00	76,04	76,04	75,84	75,84	4	4	4	4
ER1	7	2011-11-05	11:00:00	76,04	75,84	76,04	75,63	4	4	4	4
ER1	7	2011-11-05	12:00:00	75,01	75,22	74,4	74,81	4	4	4	4
ER1	7	2011-11-05	13:00:00	76,04	75,84	75,84	75,63	4	4	4	4
ER1	7	2011-11-05	14:00:00	75,42	75,63	75,22	75,42	4	4	4	4
ER1	7	2011-11-05	15:00:00	75,22	75,01	75,01	74,81	4	4	4	4
ER1	7	2011-11-05	16:00:00	74,4	74,6	73,98	73,98	4	4	4	4
ER1	7	2011-11-05	17:00:00	74,4	74,6	73,98	73,98	4	4	4	4
ER1	7	2011-11-05	18:00:00	74,4	74,4	73,78	73,98	4	4	4	4
ER1	7	2011-11-05	19:00:00	74,4	75,01	73,78	74,4	4	4	4	4
ER1	7	2011-11-05	20:00:00	75,42	75,84	75,22	75,63	4	4	4	4
ER1	7	2011-11-05	21:00:00	76,04	76,25	75,84	76,04	4	4	4	4
ER1	7	2011-11-05	22:00:00	76,66	77,28	76,46	77,08	4	4	4	4
ER1	7	2011-11-05	23:00:00	77,49	77,9	77,28	77,69	4	4	4	4
ER1	1	2011-11-06	00:00:00	77,69	78,1	77,28	77,69	4	4	4	4
ER1	1	2011-11-06	01:00:00	78,1	78,31	77,9	78,1	4	4	4	4
ER1	1	2011-11-06	02:00:00	77,9	78,1	77,28	77,49	4	4	4	4
ER1	1	2011-11-06	03:00:00	79,34	79,55	79,14	79,34	4	4	4	4
ER1	1	2011-11-06	04:00:00	79,14	79,55	78,93	79,14	4	4	4	4
ER1	1	2011-11-06	05:00:00	79,55	79,75	79,34	79,55	4	4	4	4
ER1	1	2011-11-06	06:00:00	79,96	79,96	79,75	79,75	4	4	4	4
ER1	1	2011-11-06	07:00:00	79,14	78,93	78,93	78,52	4	4	4	4
ER1	1	2011-11-06	08:00:00	77,69	77,49	77,08	76,87	4	4	4	4
ER1	1	2011-11-06	09:00:00	77,9	77,69	77,69	77,49	4	4	4	4
ER1	1	2011-11-06	10:00:00	76,87	76,46	76,87	76,25	4	4	4	4
ER1	1	2011-11-06	11:00:00	75,84	75,63	75,63	75,42	4	4	4	4
ER1	1	2011-11-06	12:00:00	75,84	75,63	75,63	75,63	4	4	4	4
ER1	1	2011-11-06	13:00:00	75,42	75,22	75,22	75,22	4	4	4	4
ER1	1	2011-11-06	14:00:00	74,6	74,4	74,19	73,98	4	4	4	4
ER1	1	2011-11-06	15:00:00	75,01	75,22	75,01	75,22	4	4	4	4
ER1	1	2011-11-06	16:00:00	75,42	75,84	75,42	75,84	4	4	4	4
ER1	1	2011-11-06	17:00:00	75,22	75,01	74,6	74,6	4	4	4	4
ER1	1	2011-11-06	18:00:00	75,63	75,42	75,63	75,42	4	4	4	4
ER1	1	2011-11-06	19:00:00	75,84	76,04	75,84	75,84	4	4	4	4
ER1	1	2011-11-06	20:00:00	74,81	75,01	74,19	74,4	4	4	4	4
ER1	1	2011-11-06	21:00:00	75,63	75,84	75,42	75,63	4	4	4	4
ER1	1	2011-11-06	22:00:00	76,04	76,46	76,04	76,25	4	4	4	4
ER1	1	2011-11-06	23:00:00	76,66	77,08	76,66	76,87	4	4	4	4
ER1	2	2011-11-07	00:00:00	76,25	76,66	75,63	76,04	4	4	4	4

ER1	2	2011-11-07	01:00:00	76,87	77,08	76,25	76,46	4	4	4	4
ER1	2	2011-11-07	02:00:00	78,31	78,52	78,1	78,31	4	4	4	4
ER1	2	2011-11-07	03:00:00	77,49	77,9	76,87	77,28	4	4	4	4
ER1	2	2011-11-07	04:00:00	78,1	78,52	77,49	77,9	4	4	4	4
ER1	2	2011-11-07	05:00:00	79,34	79,55	79,14	79,34	4	4	4	4
ER1	2	2011-11-07	06:00:00	78,52	77,9	77,9	77,28	4	4	4	4
ER1	2	2011-11-07	07:00:00	77,69	77,69	77,49	77,49	4	4	4	4
ER1	2	2011-11-07	08:00:00	76,66	77,08	76,04	76,46	4	4	4	4
ER1	2	2011-11-07	09:00:00	77,69	77,69	77,69	77,69	4	4	4	4
ER1	2	2011-11-07	10:00:00	76,46	76,46	75,84	75,84	4	4	4	4
ER1	2	2011-11-07	11:00:00	77,08	77,08	76,87	76,87	4	4	4	4
ER1	2	2011-11-07	12:00:00	76,25	76,25	76,04	76,04	4	4	4	4
ER1	2	2011-11-07	13:00:00	76,04	76,04	75,84	76,04	4	4	4	4
ER1	2	2011-11-07	14:00:00	75,22	75,42	74,81	74,81	4	4	4	4
ER1	2	2011-11-07	15:00:00	75,22	75,42	74,6	75,01	4	4	4	4
ER1	2	2011-11-07	16:00:00	76,25	76,87	76,04	76,66	4	4	4	4
ER1	2	2011-11-07	17:00:00	75,63	75,63	75,22	75,22	4	4	4	4
ER1	2	2011-11-07	18:00:00	76,25	76,25	76,04	76,04	4	4	4	4
ER1	2	2011-11-07	19:00:00	76,04	76,46	75,84	76,04	4	4	4	4
ER1	2	2011-11-07	20:00:00	76,04	76,46	75,84	76,25	4	4	4	4
ER1	2	2011-11-07	21:00:00	76,66	76,66	76,46	76,46	4	4	4	4
ER1	2	2011-11-07	22:00:00	75,63	75,84	75,01	75,22	4	4	4	4
ER1	2	2011-11-07	23:00:00	77,08	77,49	76,87	77,28	4	4	4	4
ER1	3	2011-11-08	00:00:00	76,66	77,08	76,04	76,66	4	4	4	4
ER1	3	2011-11-08	01:00:00	77,28	77,69	76,66	77,08	4	4	4	4
ER1	3	2011-11-08	02:00:00	77,9	78,52	77,49	77,9	4	4	4	4
ER1	3	2011-11-08	03:00:00	79,14	79,75	78,93	79,55	4	4	4	4
ER1	3	2011-11-08	04:00:00	78,93	79,34	78,52	78,72	4	4	4	4
ER1	3	2011-11-08	05:00:00	79,75	79,96	79,55	79,75	4	4	4	4
ER1	3	2011-11-08	06:00:00	78,72	78,1	78,1	77,49	4	4	4	4
ER1	3	2011-11-08	07:00:00	77,9	77,69	77,69	77,49	4	4	4	4
ER1	3	2011-11-08	08:00:00	77,49	77,49	77,49	77,49	4	4	4	4
ER1	3	2011-11-08	09:00:00	77,28	77,28	77,08	77,08	4	4	4	4
ER1	3	2011-11-08	10:00:00	76,25	76,25	75,63	75,63	4	4	4	4



---

## GUÍA DE USUARIO PARA ESTACIONES REMOTAS UTPL

15 de enero de 2012  
UTPL UCG-EET  
Luis Alfredo Quichimbo e Israel Reyes

# CONTENIDO

CONTENIDO .....	1
INDICE DE FIGURAS.....	2
1. OBJETIVO .....	3
2. EQUIPAMIENTO NECESARIO .....	3
3. ESPECIFICACIONES DEL PRODUCTO .....	3
3.1. DESCRIPCIÓN DE ENTRADAS ANALÓGICAS .....	3
4. INSTALACIÓN DE SOFTWARE .....	4
4.1. MPASM .....	4
4.2. MICROCODE .....	6
4.3. HIDBOOTLOADER .....	8
5. MODO PROGRAMACIÓN.....	8
6. MODIFICAR CÓDIGO FUENTE.....	9
7. IGUALAR RELOJ .....	11
8. CARGADOR DE ARRANQUE .....	11

## INDICE DE FIGURAS

Figura 1 Distribución de entradas analógicas .....	3
Figura 2 Conexión para transmisores con alimentación externa (parte superior) e interna (parte inferior) .....	4
Figura 3 Instalación de MPLAB.....	5
Figura 4 Seleccionar opciones de soporte para dispositivos de Microchip .....	5
Figura 5 Seleccionar MPASM Suite .....	6
Figura 6 Instalación completada .....	6
Figura 7 Abrir opciones de compilador y programa.....	7
Figura 8 Ventana de opciones de compilador.....	7
Figura 9 Ventana de opciones de ensamblador .....	8
Figura 10 Interfaz de la aplicación USB Bootloader .....	8
Figura 11 Pulsadores de reinicio y modo programación .....	9
Figura 12 Código fuente en Microcode Studio.....	10
Figura 13 Instrucciones para igualar reloj.....	11

## 1. OBJETIVO

Describir las características y elementos necesarios para que el usuario conozca la información básica de operación de las estaciones remotas.

## 2. EQUIPAMIENTO NECESARIO

Los programas que se requieren para modificar y reprogramar las estaciones son:

- MICROCODE STUDIO 3.0.0.5 o superior
- MPASM de Microchip
- HIDBOOLOADER de Microchip

Mientras, que el equipo necesario para su operación es:

- Estación remota
- Cable de poder
- Cable USB (para impresoras)

## 3. ESPECIFICACIONES DEL PRODUCTO

Característica	Detalle
Tamaño (largo x ancho x alto)	23x18x13 cm
Recubrimiento	Plástico
Voltaje de alimentación	110 VAC
Entradas analógicas	De 4 a 20 mA: <ul style="list-style-type: none"><li>• 3 para transmisores con alimentación interna</li><li>• 1 para transmisores con alimentación externa</li></ul>
Banda de operación	GSM2338 (850/900/1800/1900)
Puerto de comunicación	USB 2.0

### 3.1. DESCRIPCIÓN DE ENTRADAS ANALÓGICAS

En el mercado podemos encontrar transmisores, que, para entregar la señal de corriente utilizan su propia alimentación o demandan de una fuente de alimentación externa.

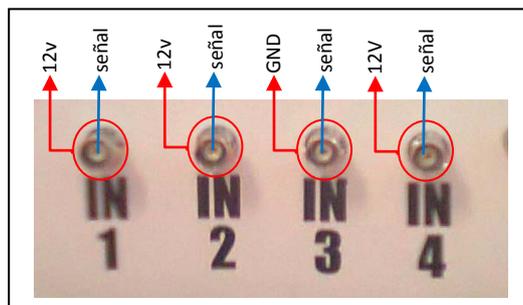


Figura 1 Distribución de entradas analógicas

Por esta razón, en las entradas analógicas de las estaciones, figura 1, se ha configurado a las entradas 1, 2 y 4 (IN 1, IN2 e IN4) para conectarse a transmisores que provean al transmisor de la alimentación, mientras que, a la entrada 3 (IN 3) deben conectarse transmisores que posean alimentación interna, ver figura 2.

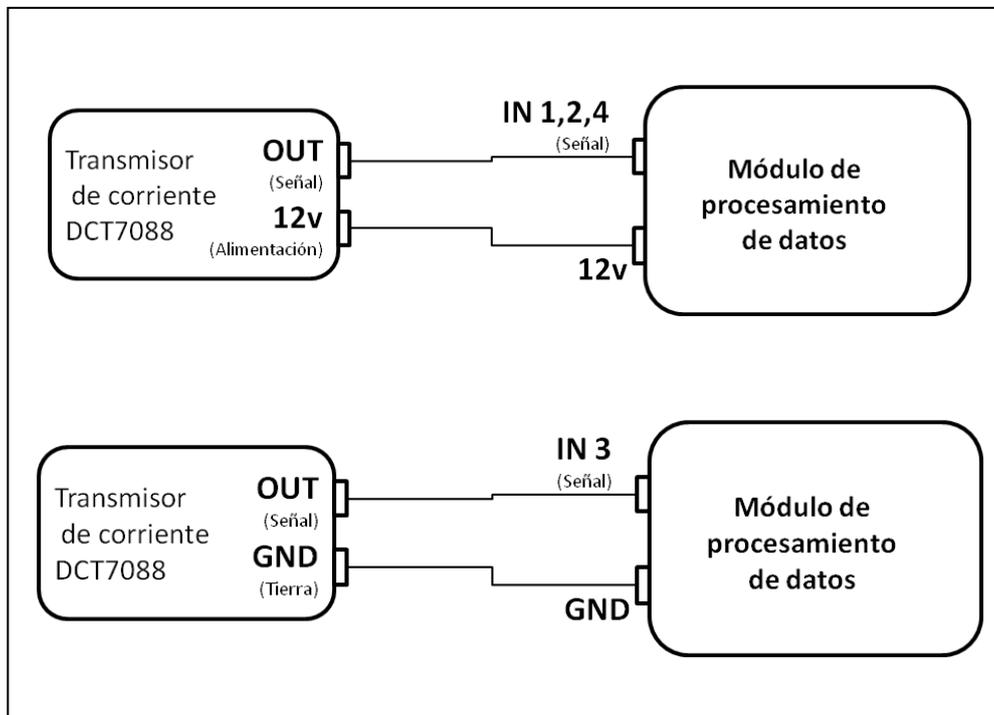


Figura 2 Conexión para transmisores con alimentación externa (parte superior) e interna (parte inferior)

## 4. INSTALACIÓN DE SOFTWARE

El software que se utiliza en las estaciones, es de distribución gratuita. A continuación se detallan los pasos para su instalación.

### 4.1. MPASM

El MPASM es un ensamblador universal de Microchip, que se instala del paquete MPLAB Tools.

- Para iniciar la instalación hacer doble clic en *setup* que está en la subcarpeta *MPLAB\_IDE\_8\_76*, de la carpeta *software*.
- Clic en SI para permitir ejecutar el instalador, luego, aparecerá la ventana que se muestra en la figura 3 donde debemos hacer clic en *Next*.
- En la nueva ventana, aceptamos los términos de acuerdo de licencia y continuamos con la instalación.
- Seleccionamos el tipo de instalación que deseamos realizar, en nuestro caso, como solamente vamos a usar la herramienta MPASM, escogemos la opción *custom*, y seguidamente hacemos clic en *Next*.

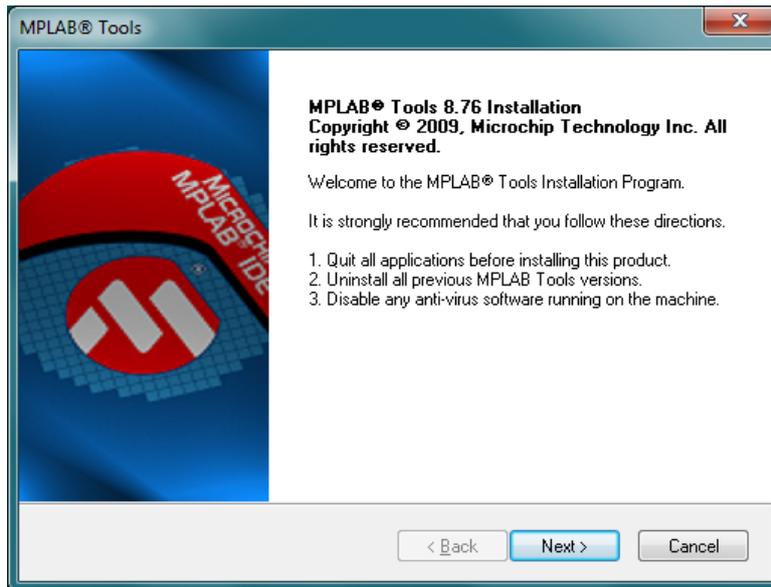


Figura 3 Instalación de MPLAB

- e. Ahora indicamos la ruta para guardar el programa, o dejamos la que está por defecto y seleccionamos *Next*.
- f. A continuación aparece una ventana, en donde seleccionamos:
  - Los tres casilleros correspondientes a soporte para dispositivos de Microchip, figura 4.
  - En Aplicaciones de Microchip, únicamente seleccionar MPASM suite, figura 5.

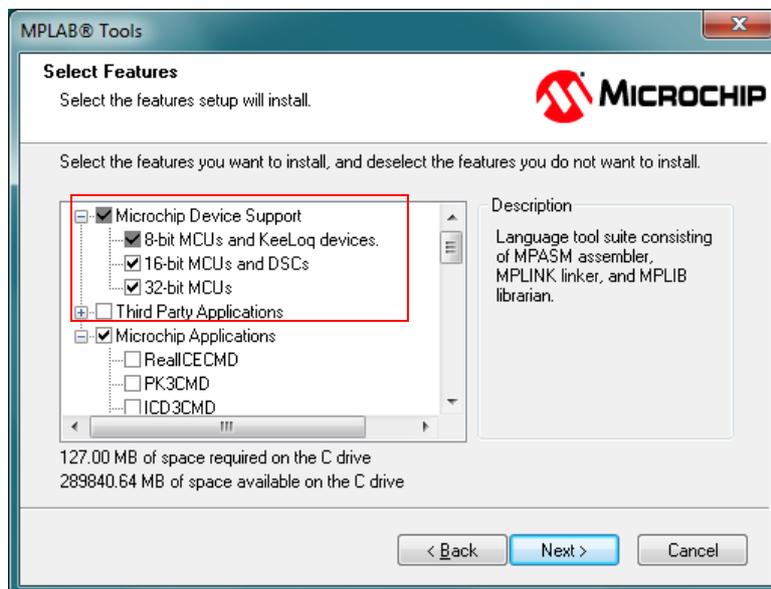


Figura 4 Seleccionar opciones de soporte para dispositivos de Microchip

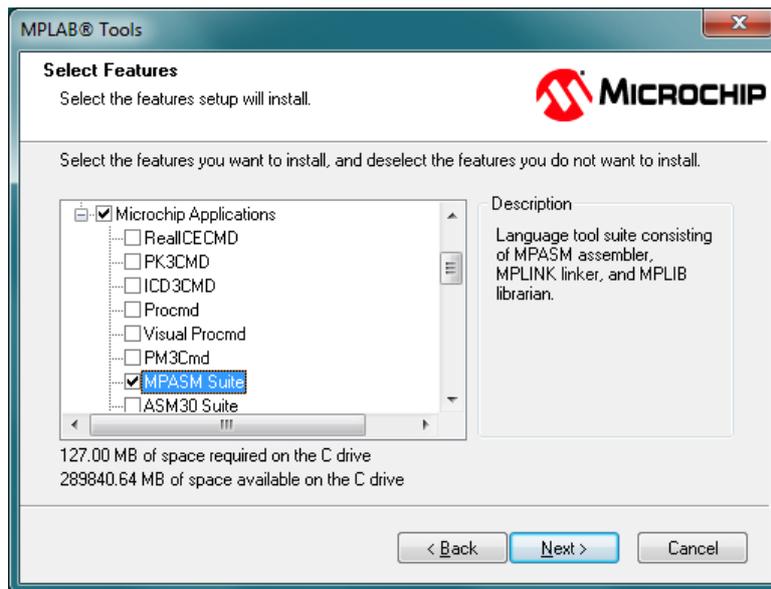


Figura 5 Seleccionar MPASM Suite

- g. En las siguientes ventanas damos clic en *Next*, hasta que aparezca la ventana que indica que la instalación concluyó, y para finalizar le damos clic *Finish*, figura 6.

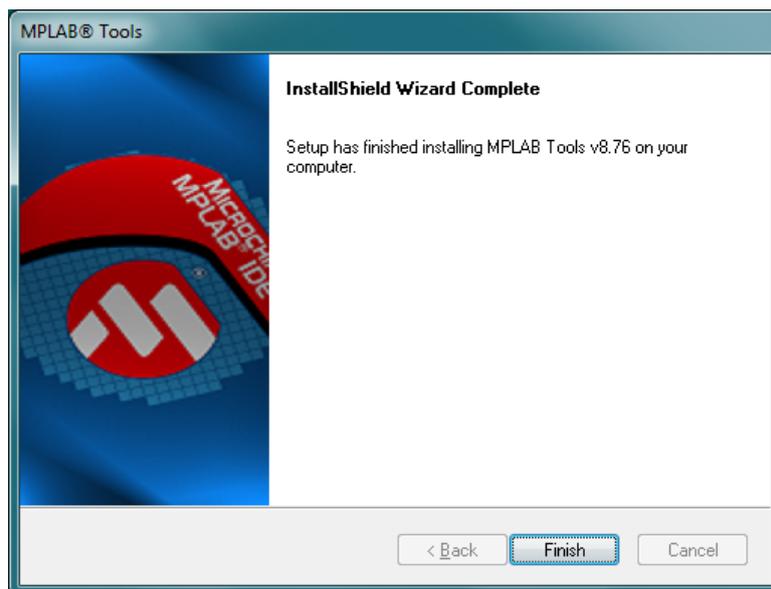


Figura 6 Instalación completada

- h. Por último, se abre una ventana ofreciendo al usuario documentación acerca del software instalado.

## 4.2. MICROCODE

Este programa nos va a permitir editar y compilar el código fuente de las estaciones.

- En la carpeta *software*, abrimos la subcarpeta *MicroCode 3.0.0.5\_PBP247* y hacemos doble clic en *microcode 3.0.0.5* para ejecutar el instalador.
- En las siguientes ventanas seleccionamos *Next*, aceptando los acuerdos de licencia.

- c. Al final aparecerá una ventana indicando que el proceso de instalación de *Microcode* ha finalizado.
- d. Ahora se debe incluir en el *Microcode* el ensamblador *MPASM*. Abrimos *Microcode Studio* desde *Inicio-Todos los programas-Microcode Studio*.
- e. Permitimos que la aplicación se abra.
- f. En la pestaña *View*, escogemos la opción *Compile and Program Options*, figura 7.

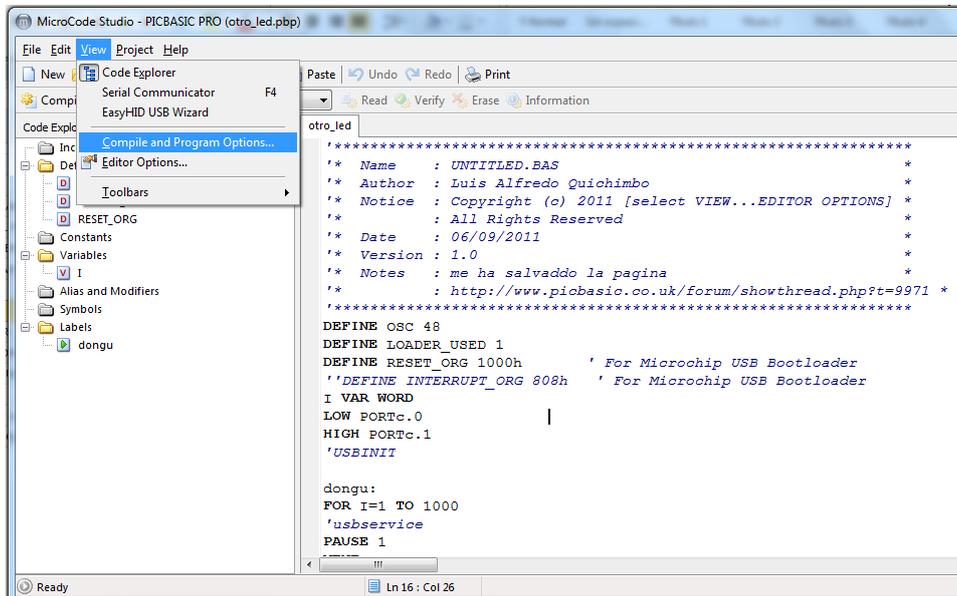


Figura 7 Abrir opciones de compilador y programa

- g. En la nueva ventana, figura 8, revisamos que en la pestaña *Compiler* esté apuntando hacia la carpeta *pbp247*, caso de no ser así, copiar la carpeta *pbp247* desde la carpeta del instalador hacia “*c:\program files\mecanique\mcs\pbp247*” y luego especificar la ruta en esta ventana.

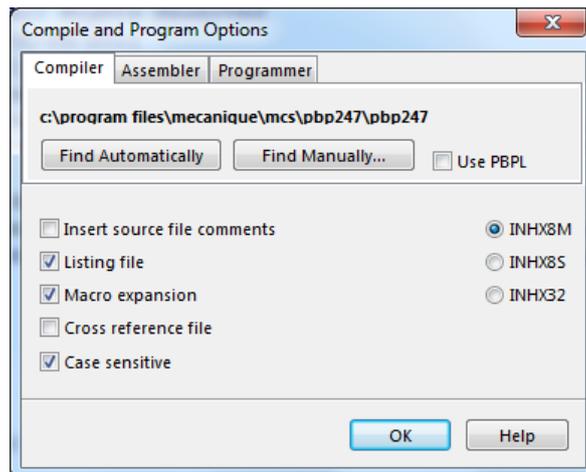


Figura 8 Ventana de opciones de compilador

- h. Hacemos clic en la pestaña *Assembler*, de la misma ventana, figura 9. Seleccionamos la opción *Use MPASM* y especificamos la ruta del archivo “*c:\program files\microchip\mpasm suite*” haciendo clic en *Find Manually*.

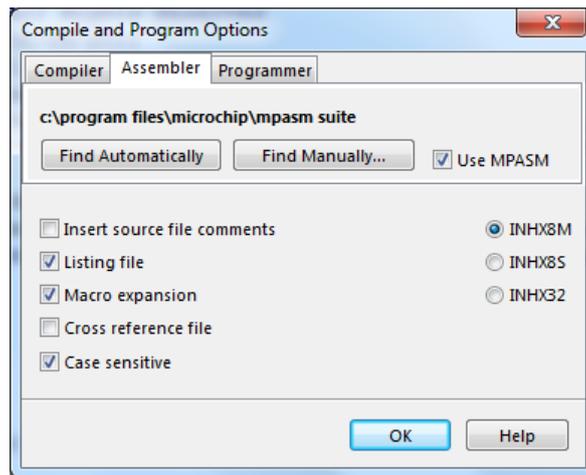


Figura 9 Ventana de opciones de ensamblador

- i. Hacemos clic en *OK* para aceptar los cambios. Y el programa está listo para utilizar.

### 4.3. HIDBOOTLOADER

A diferencia de los dos anteriores, esta es una aplicación que no necesita instalación para su funcionamiento. En la figura 10 se puede apreciar su interfaz.

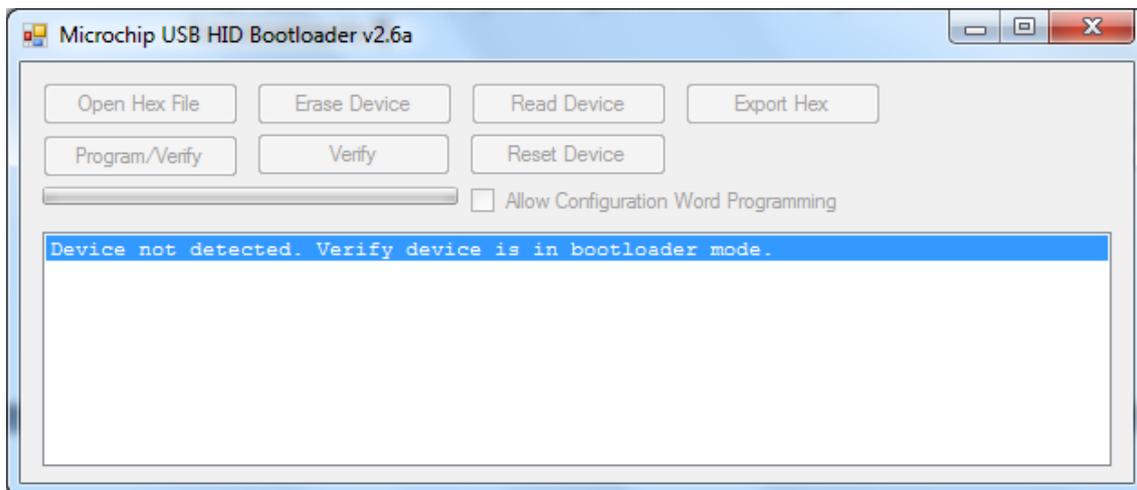


Figura 10 Interfaz de la aplicación USB Bootloader

## 5. MODO PROGRAMACIÓN

Al hacer uso del modo programación por primera vez en un computador, se debe realizar los siguientes pasos para instalar el controlador del USB.

- a. Estando apagada la estación remota, se conecta un extremo del cable USB al computador.
- b. Antes de conectar el otro extremo del cable USB en la estación, se debe mantener presionado el pulsador *Modo programación*, que se muestra en la figura 11, y no

soltarlo mientras no aparezca en la pantalla del computador el mensaje de que el controlador ha sido instalado satisfactoriamente.

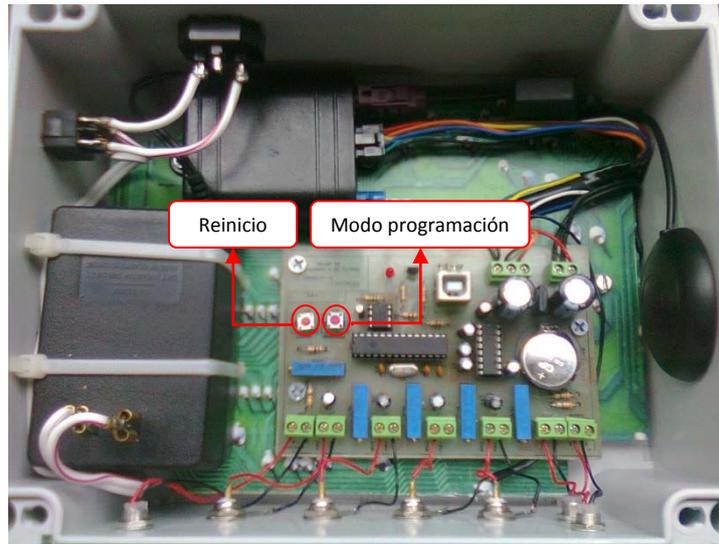


Figura 11 Pulsadores de reinicio y modo programación

- c. Una vez que el controlador ha sido instalado, se puede comprobar que la estación entró a *Modo programación* observando que los LEDs de adquisición y envío de la parte frontal de la estación están titilando rápidamente.
- d. Abrir la aplicación HIDBootloader, figura 10, donde debe aparecer el mensaje *Device attached*, que indica que la estación está lista para ser reprogramada.

NOTA: De ahora en adelante, antes de conectar el segundo extremo del cable USB se debe tener presionado el pulsador *Modo programación*, cuando se observe que los LEDs empiecen a titilar sabremos que la estación está apta para ser reprogramada.

## 6. MODIFICAR CÓDIGO FUENTE

Por defecto, las estaciones realizan un promedio de 360 datos tomados cada 10 segundos y las entradas analógicas están configuradas de la siguiente manera:

Entrada	Configuración
Uno	Para conectar transmisores de presión que posean un rango de medición de 0 a 300 psi.
Dos	
Tres	Para conectar un caudalímetro que esté configurado con un rango de medición de 0 a 200 lt/s.
Cuatro	Para conectar cualquier transmisor de corriente de 4-20 mA, sin importar el tipo de medición que este realice.

En caso de que el usuario, desee reconfigurar el rango de medición de las entradas o en el número de muestras a promediar, debe modificar el código fuente de la estación. Para ello se debe realizar los siguientes pasos:

- a. Abrir en Microcode Studio el archivo *"prom\_inst\_max\_min\_reducido.pbp"*, que está dentro de la carpeta *Código fuente*.

- b. Buscar en las líneas de código, el comentario *definición de variables*, señalado con un recuadro rojo en la figura 12. El detalle de cada una de las instrucciones se describe en la tabla 1.

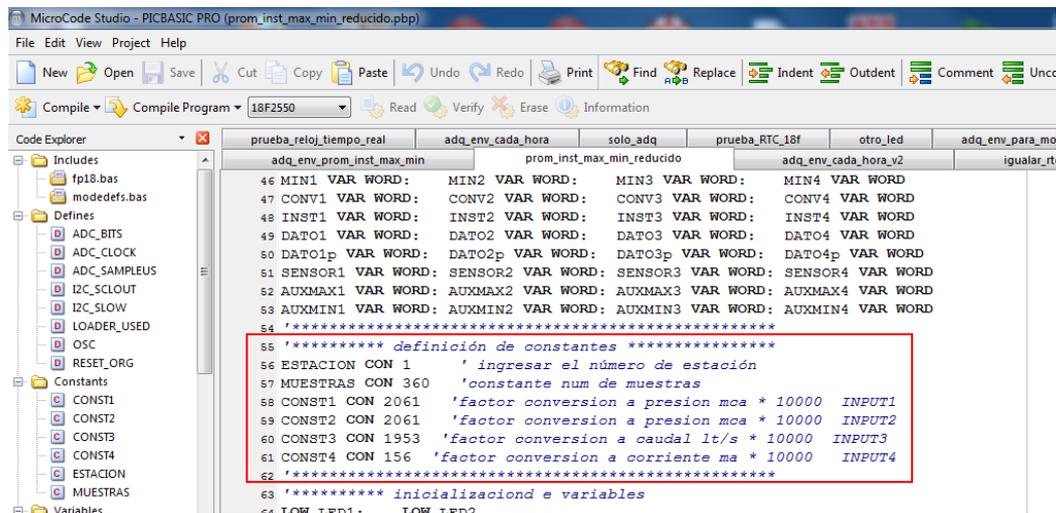


Figura 12 Código fuente en Microcode Studio

Instrucción	Descripción
ESTACIÓN CON 1	El número 1 se debe cambiar dependiendo del número de estación a la que se le va a hacer los cambios en su código fuente.
MUESTRAS CON 360	El número 360 indica la cantidad de muestras que se van a promediar. <b>NOTA:</b> Siempre tener en cuenta que número de muestras debe ser múltiplo de 60.
CONST1 CON 2061 CONST2 CON 2061 CONST3 CON 1953	Cada uno de estos números representa el factor de conversión a aplicarse a las entradas analógicas IN 1, IN2 e IN 3. Para calcular el factor de conversión, se debe conocer el rango de medición del transmisor a conectarse en cada una de las entradas (Valor máximo y valor mínimo), con estos datos se aplica siguiente ecuación: $factor\_conv = \frac{Valor\ máximo - Valor\ mínimo}{1023} \times 10000$
CONST4 CON 156	Esta entrada es un caso especial, porque entrega el valor de corriente independiente del rango de medición transmisor. En el caso de que se requiera aplicar un factor de conversión, para que funcione igual que las demás entradas, se debe aplicar la misma ecuación, pero se debe comentar las instrucciones desde la 326 hasta la 328. <pre>           ---           326     bint = 4           327     GOSUB itofb           328     GOSUB fpadd     'adiciona aint+bint ==&gt; ((,01563)*DATO4p)+4           ---           </pre>

Tabla 1 Detalle de instrucciones que se puede modificar

- c. Una vez que realizados los cambios en el código fuente se procede a compilarlo, pulsando la tecla F9 o haciendo clic sobre la pestaña *Projecty* luego en *compile*. Si se ha hecho bien los cambios, debe aparecer en la parte inferior izquierda del *Microcode* un texto indicando que la compilación ha sido satisfactoria.

- d. Ahora, se debe abrir la aplicación HIDBootloader e ingresar al modo programación de la estación. Luego, hacer clic sobre la pestaña *Open Hex File* y buscar el archivo “*prom\_inst\_max\_min\_reducido.hex*” y por último clic sobre *Program/Verify*.

## 7. IGUALAR RELOJ

Dentro de las estaciones está el módulo de procesamiento, donde se ubica un LED rojo que se prende y apaga cada segundo, desde el momento en que se encienden las estaciones. Si no titila el LED rojo del módulo y los LEDs de envío y adquisición estén titilando cada 500ms (medio segundo), es necesario igualar el reloj.

- a. Abrir en el Microcode el archivo “*igualar\_rtc\_18f.pbp*” que está en la carpeta *código\_fuente*.
- b. Modificar las instrucciones desde la 37 a la 43, figura13. Al ingresar cada uno de los nuevos valores, tomar en cuenta que el símbolo “\$” debe permanecer intacto, porque de lo contrario el reloj se igualará de manera incorrecta. El reloj se igualará al momento de encender la estación, por lo que se debe escribir unos minutos adelantado.

```
36 ' *****modificar variables, sin eliminar el "$"*****
37 ANIO = $12 |
38 MES = $1
39 DIAM = $9
40 DIAS = $2 'D=1,L=2, M=3 , M=4, J=5, V=6, S=7
41 h = $10
42 m = $39
43 s = $00
44 ' *****
```

Figura13 Instrucciones para igualar reloj

- c. Una vez realizados los cambios en el código fuente se procede a compilarlo, pulsando la tecla F9 o haciendo clic sobre la pestaña *Project* y luego en *compile*. Si se ha hecho bien los cambios, debe aparecer en la parte inferior izquierda del *Microcode* un texto indicando que la compilación ha sido satisfactoria.
- d. Ahora, se debe abrir la aplicación HIDBootloader e ingresar al modo programación de la estación. Luego, hacer clic sobre la pestaña *Open Hex File* y buscar el archivo “*prom\_inst\_max\_min\_reducido.hex*” y por último clic sobre *Program/Verify*.
- e. Tomar en cuenta, la hora que se ingresó en el código fuente para encender la estación cuando ya coincidan los tiempos. Si el reloj se igualó correctamente, se verá que el LED rojo del módulo titilará cada segundo.

## 8. CARGADOR DE ARRANQUE

En la carpeta software, existe además un archivo “*bootloader.hex*” que es, como su nombre lo indica, el cargador de arranque del microcontrolador de la estación remota. Este archivo contiene la configuración necesaria para que se pueda establecer comunicación entre un computador y la estación remota.

Este archivo se debe cargar al microcontrolador una sola vez, en el caso de que se cambie el microcontrolador de la estación. Para ello se debe remover el microcontrolador de la estación y quemarlo al archivo desde un programador como el Pik Kit2, que es una herramienta que está dentro del instalador de MPLAB.

# Diseño e implementación de un sistema de monitoreo remoto de variables hidráulicas de la red de agua potable de la UTPL, utilizando la plataforma GPRS

Luis Alfredo Quichimbo<sup>#1</sup>, Fernando Israel Reyes<sup>#1</sup>, Carlos A. Calderón<sup>#2</sup>

<sup>#1</sup>Profesional en formación, EET, Universidad Técnica Particular de Loja

<sup>#2</sup>Docente, EET, Universidad Técnica Particular de Loja

Loja, Ecuador

[laquichimbox@utpl.edu.ec](mailto:laquichimbox@utpl.edu.ec), [fireyes@utpl.edu.ec](mailto:fireyes@utpl.edu.ec), [cacalderon@utpl.edu.ec](mailto:cacalderon@utpl.edu.ec)

**Resumen**—Este trabajo presenta los resultados obtenidos al diseñar e implementar un sistema de monitoreo remoto de la red de agua potable dentro del campus de la UTPL, utilizando como plataforma de transmisión la red GPRS de las operadoras de telefonía móvil. Las variables hidráulicas a medir son la presión y el caudal, para ello utilizamos transmisores de presión y de caudal que entregan a su salida una señal de corriente de 4 a 20mA, las cuales son convertidas a señal de voltaje para poder ser digitalizadas en el módulo de procesamiento, para su posterior transmisión a través de un modem GSM con soporte para GPRS hacia una estación central ubicada en la UTPL.

**Palabras claves**—monitoreo, caudal, presión, GPRS, GSM, señal de corriente, señal de voltaje, digitalización, transmisión.

## I. INTRODUCCIÓN

A medida que va aumentando la población, lo hace también la demanda de recursos hídricos, lo que supone un reto para los profesionales que trabajan en lo relacionado al abastecimiento del agua, ya que se debe asegurar una calidad adecuada del agua y sobre todo se debe asegurar que se va a contar con el recurso. El agua, además, es un recurso finito y esencial para sostener la vida, el desarrollo y el medio ambiente.

Es común, hoy en día, escuchar acerca de una supuesta crisis mundial del agua, la cual está fundamentada en el crecimiento demográfico, riqueza, demanda creciente, etc., sin embargo, cada vez es más evidente que lo que origina esta crisis no son los problemas antes mencionados, sino la mala gestión y, en la mayoría de los casos, la inexistente gestión hídrica. Con una adecuada gestión y una correcta selección de prioridades, no hay razón para no contar con la suficiente agua, aún en las zonas más áridas y secas del planeta [1].

La gestión hídrica es un tema bastante amplio que incluye entre otras cosas planificación, monitoreo y análisis de datos, sin embargo en el presente trabajo, nos enfocamos en dar una alternativa viable al subsistema del monitoreo.

Para esto hemos diseñado e implementado un sistema que, a través de la adquisición de variables hidráulicas (caudales y presiones) y su posterior transmisión, son enviadas hacia una estación central por medio de la red GPRS, para así obtener valores reales y actuales del estado de la red hidráulica del campus de la UTPL.

Además, debido al convenio de transferencia de tecnología existente entre la Unidad Municipal de Agua potable y Alcantarillado (UMAPAL) y la UTPL, el sistema de monitoreo fue puesto en funcionamiento en uno de los nudos de control de la red de agua potable de la ciudad de Loja, logrando confirmar que el sistema puede ser implementado en cualquier punto, donde se desee monitorear una red hidráulica, siempre y cuando se cuente con cobertura de la red celular.

El trabajo se realizó en cuatro etapas. En la primera, se definió la arquitectura que va a tener el sistema, luego se realizó el diseño y la implementación y finalmente la puesta en marcha del sistema.

## II. ARQUITECTURA DEL SISTEMA

El sistema está integrado por varios bloques funcionales, ver figura 1. El primer bloque comprende la estación remota, el segundo bloque hace referencia a los medios y tecnologías por los que deben trasladarse los datos para ir desde las

estaciones remotas a la estación de monitoreo, que constituye el tercer bloque, que es donde se reciben y analizan los datos.

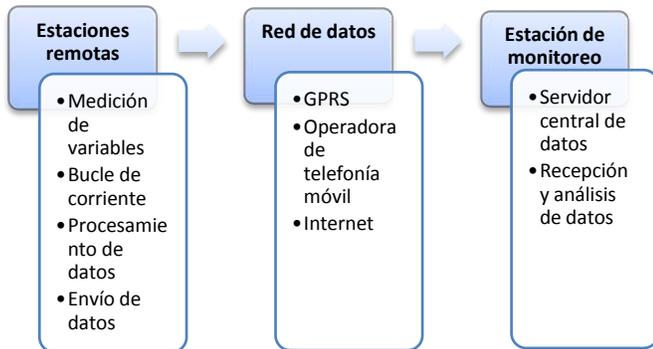


Figura 1. Arquitectura General del sistema de monitoreo.

- **Estaciones remotas:** son las encargadas de digitalizar las señales analógicas entregadas por los instrumentos que miden las variables físicas de presión y caudal del agua en las tuberías, para luego procesarlas, entramarlas y enviarlas al modem GPRS, ver figura 2.

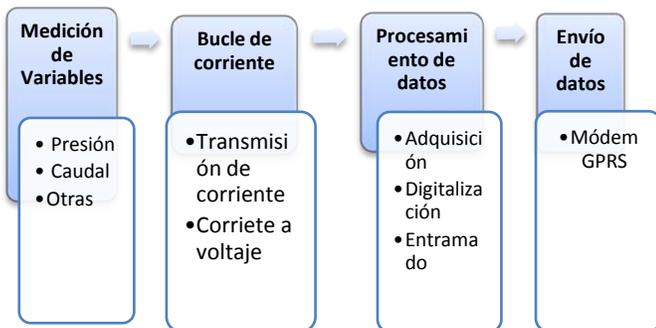


Figura 2. Componentes de las estaciones remotas.

- **Medición de Variables:** Los transmisores usados para obtener la medida de las variables de presión y caudal son el ECO-1, del fabricante WIKA, que es un transmisor de presión piezoeléctrico basado en diafragma interno, posee alta precisión, estabilidad a largo plazo y repetibilidad [2], ver figura 3 y el Polysonics DTC7088 del fabricante Thermo Electron Corporation, que utiliza una técnica de medición no invasiva basada en ultrasonido y reconfigurable tanto en tipo y tamaño de tubería, así como en el tipo de fluido [3], ver figura 3. Ambos transmisores nos entregan como salida una señal de corriente de 4-20mA de acuerdo a su rango de medición.



Figura 3. Izq: Transmisor de Presión ECO-1 [2]  
Der: Caudalímetro Polysonics DCT7088 [3]

- **Bucle de Corriente:** Considerando las indicaciones hechas por los fabricantes de los transmisores de presión y caudal, para ambos casos se nos presentan dos alternativas para la conexión, para el caso del transmisor de presión ECO-1 se ha escogido el bucle de corriente tipo 2 que nos facilita la instalación, ver figura 4, y en el caso del caudalímetro Polysonics DCT7088 para escoger el tipo de bucle de corriente a utilizar, se debe manipular los jumpers (JP1, JP2 y JP3), con lo que se habilita tipo 2 para “loop powered” y tipo 3 para “self powered”, nosotros elegimos “self powered”, ver figura 5.

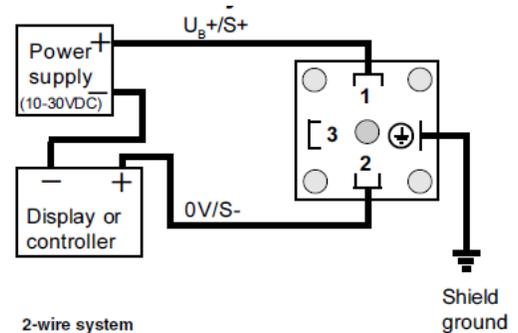


Figura 4. Conexión ECO-1 con bucle de corriente [2].

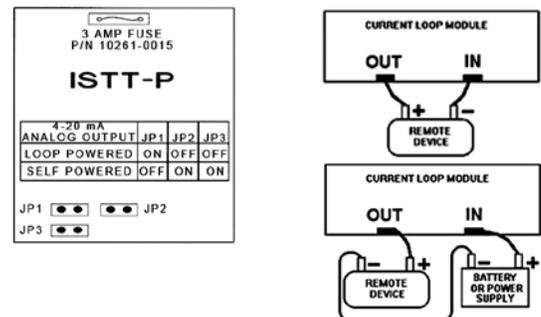


Figura 5. Conexión del caudalímetro con bucle de corriente [3].

- **Conversión de corriente a voltaje:** La conversión de la señal de corriente de 4-20 mA, proveniente de los transmisores, a señal de voltaje, se realiza utilizando una resistencia variable de ~~100~~, ajustada en 250Ω, esta conversión es necesaria debido a la incapacidad del microcontrolador de digitalizar directamente señales de corriente.
- **Procesamiento de datos:** La adquisición, digitalización y entramado de datos se realiza en el microcontrolador PIC18F2550 del fabricante Microchip, que es un circuito integrado programable, en cuyo interior posee la arquitectura básica de un computador, CPU, memoria RAM, memoria EEPROM, circuitos de entrada/salida, un módulo de conversión analógica-digital (ADC) e interfaces de comunicación [4].
- **Envío de datos:** Para poder enviar al modem los datos que se quieren transmitir, estos deben ir junto con un comando, denominado comando AT, que le indique al modem que ese dato debe transmitirse, los comandos y datos a enviar al módem deben ser previamente tratados en registros internos del controlador, hasta formar la secuencia completa “comando AT + parámetro” [5].

El Módem GPRS, ver figura 6, recibe los datos del PIC, y junto con una instrucción (también enviada desde el PIC) a través de comunicación serial RS-232, envía los datos de forma inalámbrica hacia una estación de monitoreo, que es un computador servidor encargado de centralizar, visualizar y almacenar toda la información adquirida por cada una de los transmisores de las estaciones remotas.



Figura 6 Modem GPRS del fabricante Skypatrol [5].

### III. DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN

El módulo de procesamiento, tal como se observa en el diagrama de bloques de la figura 7, tiene como elemento principal al PIC 18F2550, quien es el encargado de coordinar las acciones que realizan cada una de los bloques. Los bloques de alimentación del circuito, voltaje de referencia, cristal externo, pulsadores de programación y reinicio, y, adquisición de datos, establecen comunicación unidireccional hacia el PIC; otro bloque que tiene comunicación unidireccional con el PIC, pero en sentido contrario a la

anterior, es el bloque de LEDs indicadores; con los bloques de reloj en tiempo real, USB e interfaz de comunicación con el módem, se establece una comunicación bidireccional para que interactúen de manera independiente los tres bloques con el PIC.

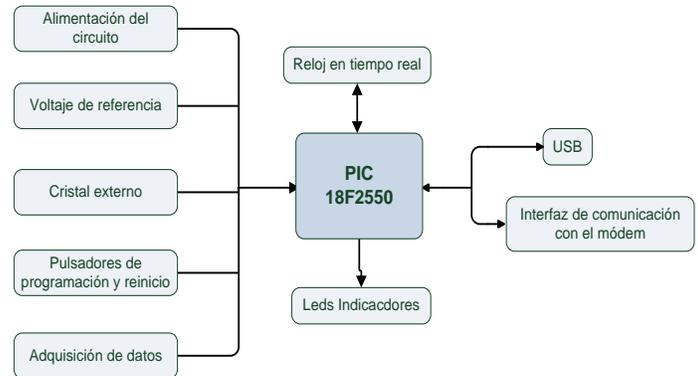


Figura 7 Esquema del módulo de procesamiento de datos.

Debido a que el código fuente generado para el PIC es muy extenso, en la figura 8 se muestra el diagrama de flujo correspondiente.

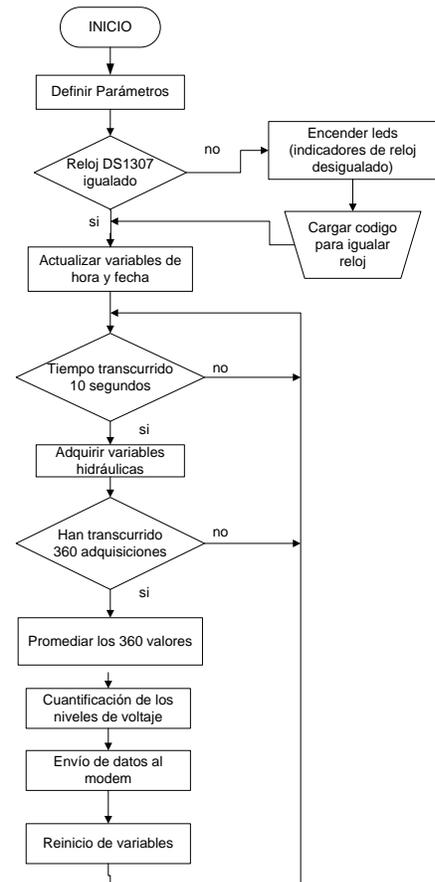


Figura 8 Diagrama de flujo del programa para el PIC.

La trama que se envía desde el PIC hacia el módem, para que éste se encargue de enviarla a la estación de monitoreo, está conformada por valores decimales que indican la fecha, hora, dato promedio y dato instantáneo de cada una de las variables físicas medidas, ver figura 9.

#	Etiqueta estación	
	Día de la semana	
	Año	
	Mes	
	Día del mes	
	hora	
	minuto	
	segundo	
	Presión promedio	
	Presión instantánea	
	Caudal promedio	
	Caudal instantáneo	
	Ent. Gen. 1	
	Promedio	
	Ent. Gen. 1	
	Instantánea	
	Ent. Gen. 2	
	Promedio	
	Ent. Gen. 2	
	Instantáneo	
#		

Figura 9 Trama a ser enviada a la estación de monitoreo.

Para la elaboración de los diagramas de circuito impreso del módulo de procesamiento, recurrimos a ARES, que forma parte de la suite Proteus, en el cual se realiza la distribución de los elementos y el ruteo de los elementos del circuito en la placa, ver figura 10.

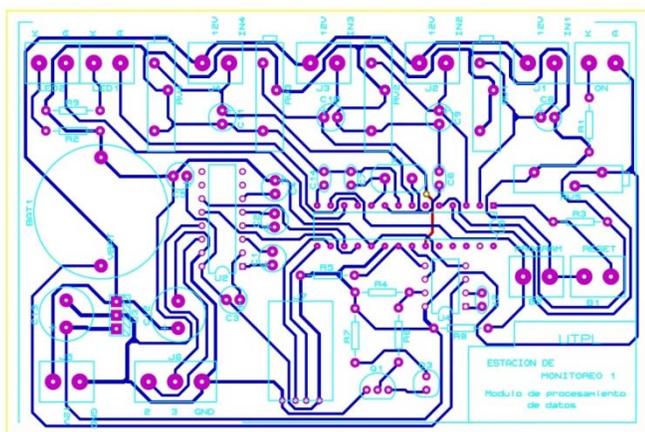


Figura 10 Placa impresa del módulo de procesamiento.

Con la ayuda del mismo software se puede generar una vista previa en 3D, del circuito impreso con sus componentes, ver figura 11.

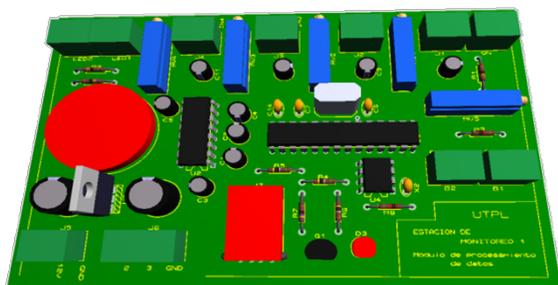


Figura 11 Vista en 3D del módulo de procesamiento.

Una vez que ya se ha construido la placa de circuito impreso, la ubicamos en la caja, juntamente con el módem, la fuente de voltaje y el cableado respectivo, ver figura 12, y en la figura 13 se muestra una vista general de la estación remota ya terminada.

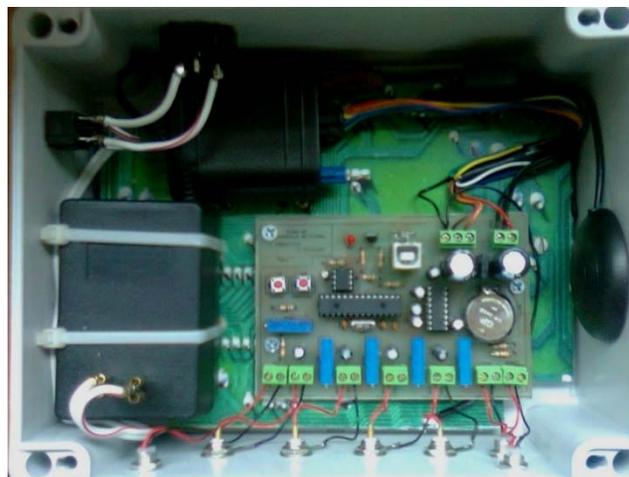


Figura 12 Distribución de los elementos en la caja.



Figura. 13 Vista general de la estación remota.

### A. Calibración del Sistema

Hoy en día, todo sistema que conlleve la medición de variables físicas, debe cumplir con un estricto proceso de ajuste y calibración, con el fin de reducir los márgenes de incertidumbre en las medidas. La calibración, es un proceso complejo, por lo que resulta imprescindible considerar las particularidades de cada sistema. Se debe tener en cuenta los requisitos establecidos en las normas de calidad y garantizar la fiabilidad y trazabilidad de las medidas.

- **Corriente- Voltaje**

Como se mencionó anteriormente, utilizamos resistencias variables para convertir la señal de corriente de 4-20 mA a voltaje, para que pueda ser adquirida y digitalizada por el módulo de procesamiento, por lo que debemos crear las condiciones adecuadas para realizar la calibración. Utilizar un transmisor de corriente nos permite obtener señales de entrada próximas a las ideales, 4 a 20 mA, además de que con un transmisor la calibración puede resultar un proceso relativamente viable y asequible porque nos permite controlar las variaciones de corriente en toda la escala. El objetivo de esta prueba es comprobar la linealidad en la conversión de corriente a voltaje y el error que sucede al momento de realizar la conversión analógica-digital.

Con la ayuda del caudalímetro DCT7088, que entre sus utilidades posee la característica de generar una señal de corriente configurable por el usuario, que va de 4 a 20mA, que permite la calibración de la salida de corriente que este entrega, vamos a evaluar cada una de las entradas de nuestro sistema. La resistencia variable la tenemos establecida en 250Ω, conectada en paralelo con un multímetro (impedancia de entrada de 10MΩ), para medir la caída de potencial producida en la resistencia y con uno de los pines del microcontrolador que va a mostrar su correspondiente valor de corriente luego de la conversión análogo-digital, ver figuras 14 y 15.

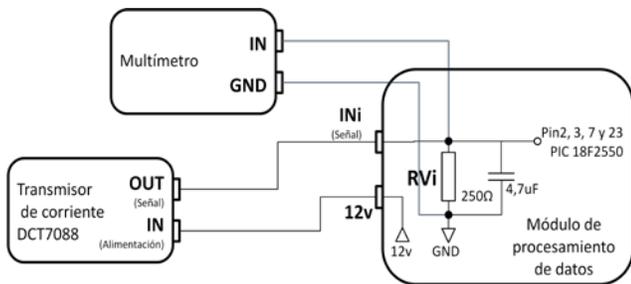


Figura 14 Conexión para las mediciones corriente-voltaje.



Figura 15 Calibración del sistema.

En la figura 16 se muestran los datos entregados por el generador de corriente del DCT7088 y los valores leídos del multímetro, mismos que muestran la linealidad que existe en la relación entre la corriente del bucle y el voltaje que se mide en la resistencia variable de precisión. La pendiente en la gráfica es de 250, correspondiente al valor de la resistencia, que es lo que se esperaba.

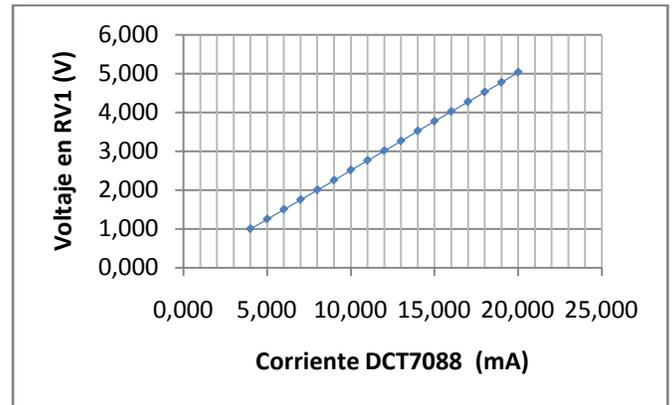


Figura 16 Relación en la conversión corriente-voltaje.

- **Corriente de entrada – corriente convertida en el PIC:**

Haciendo la comparación entre la señal de corriente generada por el transmisor del DCT7088 y los datos convertidos a corriente que nos entrega la estación, podemos encontrar una ecuación que nos permita linealizar estos valores, como se puede observar en la tabla 1 y en la figura 17, existe un pequeño error, el cual tratamos de caracterizarlo, aplicando una regresión lineal utilizando el método de mínimos cuadrados.

Corriente DCT7088 (mA)	Corriente IN1	
	(mA)	error R
4,00	4,000	0,0%
6,00	5,981	0,3%
8,00	7,994	0,1%
10,00	9,959	0,4%
12,00	11,925	0,6%
14,00	13,906	0,7%
16,00	15,950	0,3%
18,00	17,900	0,6%
20,00	19,912	0,4%

Tabla 1 Señal de corriente con respecto a la entrada 1.

La regresión lineal consiste en encontrar la ecuación de la recta que más se aproxime a unos datos ( $X_c, Y_c$ ) obtenidos experimentalmente [6]. La ecuación de la recta con la que se van a ajustar nuestros puntos es del tipo  $y = ax + b$ . En nuestro caso,  $x$  corresponde a los valores obtenidos mediante el generador de corriente del DCT7088 e  $y$  corresponde al valor de corriente digitalizado por el módulo ADC del microcontrolador, por lo tanto, lo que se necesita obtener es la pendiente  $a$  y la ordenada  $b$ .

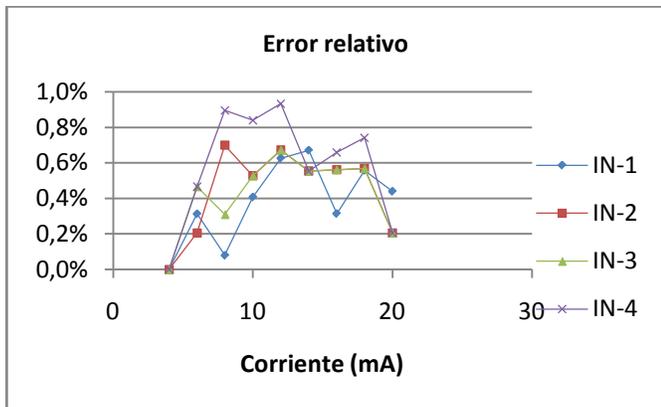


Fig. 17 Error relativo en las cuatro entradas.

Para poder realizar esto, trazamos los puntos con un gráfico de dispersión y luego agregamos su línea de tendencia, mostrando también la ecuación y el factor de correlación. Este procedimiento lo realizamos para cada uno de los cuatro canales que posee nuestro sistema, con el fin de calibrar cada canal y asegurar que cualquier sensor que se conecte, entregue datos correctos para su posterior procesamiento y transmisión. A continuación, en la fig. 18, se muestran las gráficas generadas junto con la ecuación de calibración para el canal 1, sin embargo en la tabla 2 se resumen las cuatro entradas.

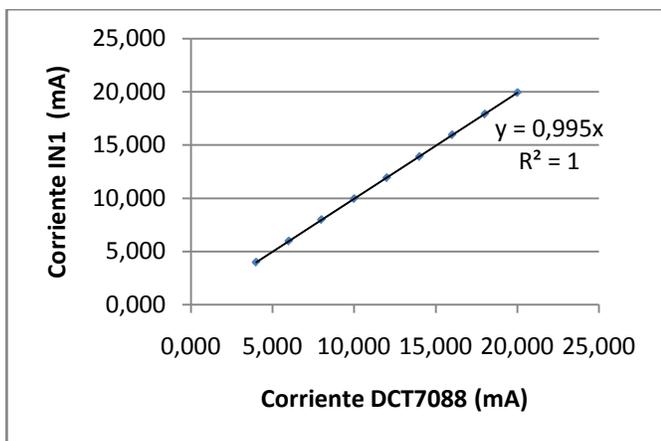


Figura 18 Corriente DCT7088 vs Corriente PIC y ecuación Canal 1.

Canal	Factor de correlación	Ecuación
Uno	1,0000	$y = 0,9953x$
Dos	0,9999	$y = 1,0036x$
Tres	0,9999	$y = 1,0035x$
Cuatro	0,9999	$y = 1,0047x$

Tabla 2 Resumen de linealización de entradas.

Como se puede observar en la tabla 2, las ecuaciones generadas a partir de las líneas de tendencia, poseen una variación mínima, obteniéndose un factor de correlación promedio de 0,99925, lo que implica que el error relativo promedio es de 0,075%. Por tal razón, hemos considerado no aplicar sobre cada canal un factor multiplicativo de corrección, tal como lo sugieren las ecuaciones, tabla 2, sino que procedemos directamente a convertir el dato digitalizado, en la variable hidráulica respectiva.

#### IV. PUESTA EN MARCHA DEL SISTEMA

En esta sección presentamos los datos que envía la estación remota y su recepción en la estación de monitoreo, para verificar que el sistema está funcionando adecuadamente.

Antes de empezar a transmitir los datos, se debe asegurar que:

- El servidor cuente con los permisos necesarios.
- El puerto designado se encuentre habilitado y sobre todo que la dirección IP pública se encuentre activa.
- La base de datos se encuentre preparada y lista para recibir información.
- El módem en la estación remota cuente con saldo suficiente, o bien tenga un plan de datos activo, que permita el envío de la información, además que debe estar configurado correctamente.

Es importante señalar que, al momento de realizar las pruebas, los equipos de medición que se encontraban instalados en el nudo I de la zona alta de la UTPL, tuvieron que ser trasladados a las calles Cuba y Av. Pío Jaramillo, sector sur de la ciudad de Loja, debido a un proyecto conjunto entre la UTPL y la UMAPAL. Razón por la cual instalamos nuestro sistema en esta nueva ubicación, lo único que cambia en este lugar, es que, ya se encontraba instalado un caudalímetro electromagnético del fabricante ABB modelo Magmaster, que a diferencia del Polysonics DCT7088 que es ultrasónico, no permite la extracción de los datos almacenados sino solamente su visualización, problema que quedó resuelto, ya que al conectar nuestra estación, los datos leídos a través de su salida analógica de 4 a 20 mA, iban a ser transmitidos y por lo tanto, aprovechados de mejor forma. En la fig. 19, se puede apreciar el caudalímetro instalado en el lugar de funcionamiento.



a) Caudalímetro ABB Magmaster b) Tablero de control

Figura 19 Caudalímetro ABB Magmaster instalado.

En este punto el sistema ya se encuentra calibrado, de modo que, se puede conectar cualquier sensor que entregue a su salida una señal de corriente de 4 a 20 mA, que el caudalímetro Magmaster posee [7].

En cuanto a los transmisores de presión, se construyeron dos cajas metálicas para alojarlos en el mismo pozo en donde se encuentra instalado el caudalímetro, una se encuentra ubicada aguas arriba respecto del caudalímetro y la otra aguas abajo, aproximadamente a 70cm de separación.

En la captura de pantalla de la base de datos del servidor, fig. 20, se puede apreciar la base de datos MySQL, que registra los datos a medida que la estación remota va transmitiendo, para ello, se realizó una aplicación que va tomando los datos que la estación transmite y los va colocando en los campos específicos de la base de datos.

estacion	dia_semana	fecha	hora	dato_p1	dato_p1	dato_p2	dato_p2	dato_p3	dato_p3	dato_p4	dato_p4
ER1	4	2011-11-02	13:00:00	69.45	71.1	69.04	70.68	4	4	4	4
ER1	4	2011-11-02	12:00:00	65.53	67.18	65.12	66.77	4	4	4	4
ER1	4	2011-11-02	11:00:00	72.13	65.12	71.72	64.71	4	4	4	4
ER1	4	2011-11-02	10:00:00	73.98	73.57	73.57	73.16	4	4	4	4
ER1	4	2011-11-02	09:00:00	74.6	74.4	74.19	73.98	4	4	4	4
ER1	4	2011-11-02	08:00:00	75.84	74.81	75.22	74.4	4	4	4	4
ER1	4	2011-11-02	07:00:00	76.66	76.46	76.25	75.84	4	4	4	4
ER1	4	2011-11-02	06:00:00	77.69	77.69	77.28	77.28	4	4	4	4
ER1	4	2011-11-02	05:00:00	77.28	77.49	76.87	76.87	4	4	4	4
ER1	4	2011-11-02	04:00:00	76.46	76.66	75.42	75.63	4	4	4	4
ER1	4	2011-11-02	03:00:00	77.08	77.28	76.66	77.08	4	4	4	4
ER1	4	2011-11-02	02:00:00	76.87	77.08	76.46	76.66	4	4	4	4
ER1	4	2011-11-02	01:00:00	75.42	75.63	74.6	74.81	4	4	4	4
ER1	4	2011-11-02	00:00:00	76.04	76.46	75.63	76.04	4	4	4	4
ER1	3	2011-11-01	23:00:00	74.19	74.81	73.36	73.98	4	4	4	4
ER1	3	2011-11-01	22:00:00	73.98	75.22	73.57	74.6	4	4	4	4
ER1	3	2011-11-01	21:00:00	73.36	73.78	72.95	73.36	4	4	4	4
ER1	3	2011-11-01	20:00:00	72.33	73.16	71.72	72.75	4	4	4	4
ER1	3	2011-11-01	19:00:00	71.3	71.3	70.48	70.48	4	4	4	4
ER1	3	2011-11-01	18:00:00	70.89	72.33	70.48	71.92	4	4	4	4
ER1	3	2011-11-01	15:00:00	62.65	63.27	61.82	62.65	4	4	4	4
ER1	3	2011-11-01	17:00:00	67.59	69.45	67.18	69.04	4	4	4	4
ER1	5	2011-11-03	09:00:00	71.51	71.92	70.68	71.1	4	4	4	4

Figura 20 Captura de pantalla de la base de datos del servidor.

## V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- Se logró diseñar e implementar dos estaciones remotas con capacidad para cuatro entradas analógicas de 4 a 20mA, sin embargo, el número de entradas podría aumentar sin problema hasta diez, que es la capacidad máxima del módulo de conversión analógica-digital del PIC 18F2550, lo que da al sistema la escalabilidad suficiente para aumentar su capacidad.
- Como sabemos, en los sistemas GPRS los recursos de radio son utilizados solo cuando se están enviando o recibiendo datos, es decir, una vez que la estación remota inicia la sesión, puede permanecer conectada durante el tiempo que requiera y los costos por el uso del servicio están en función de la cantidad de datos transmitidos, a diferencia del envío de SMS, donde el cobro se lo realiza por el número de mensajes enviados y no por la cantidad de información contenida en los mensajes, por lo que resulta mucho mejor utilizar la red GPRS en lugar de envío de SMS para la transmisión de los datos, tal como lo hicimos en el presente trabajo.
- La calibración del sistema fue necesaria para asegurar que la estación sea lo suficientemente exacta. Como se describió en la etapa de calibración, la relación entre las señales de corriente entregadas por los transmisores y los valores de corriente medidos por cada canal en las estaciones, nos muestra que todos los puntos se encuentran sobre la línea de tendencia para cada uno de los canales de entrada, con un factor de correlación promedio de 0.99925, donde la unidad indica que existe una correlación perfecta y directa, obteniéndose un error relativo promedio de 0,075%.

- Al momento de adquirir los sensores, siempre considerar que los sensores estén calibrados, porque son para interpretaciones científicas donde es necesario estar apegado a normas o estándares internacionales.

## VI. REFERENCIAS

- Patrick Moriarty, John Butterworth, Charles Batchelor. La gestión integrada de los recursos hídricos. [En línea]. Disponible en [http://www.irc.nl/content/download/24744/276391/file/TOP\\_9\\_IWRM\\_S\\_06.pdf](http://www.irc.nl/content/download/24744/276391/file/TOP_9_IWRM_S_06.pdf).
- Wika Instrument Corporation. ECO-tronic pressure transmitter type ECO-1. Disponible en [http://de-de.wika.de/upload/ba\\_eco\\_1\\_6394.pdf](http://de-de.wika.de/upload/ba_eco_1_6394.pdf)

- [3] Thermo Scientific. Polysonics DCT7088. Portable transit time flowmeter user guide. Disponible en [http://www.thermo.fr/eThermo/CMA/PDFs/Product/productPDF\\_10281.pdf](http://www.thermo.fr/eThermo/CMA/PDFs/Product/productPDF_10281.pdf)
- [4] Microchip Technology Inc. PIC18F2455/2550/4455/4550 Data sheet. Disponible en <http://ww1.microchip.com/downloads/en/devicedoc/39632c.pdf>
- [5] Skypatrol LLC. AT Command reference TT8750AT001. Disponible en [http://www.lawebmovil.com/soporte/skypatrol/TT8750AT001%20-%20SkyPatrol%20AT%20Command%20Reference%201\\_14.pdf](http://www.lawebmovil.com/soporte/skypatrol/TT8750AT001%20-%20SkyPatrol%20AT%20Command%20Reference%201_14.pdf)
- [6] **Torrelavega**. Ajuste por mínimos cuadrados. Escuela Universitaria de Ingenieros Técnicos de minas. [En línea] [Citado el: 10 de octubre de 2011]. Disponible en <http://www.optica.unican.es/fisicaMinas/practicas/Ajuste%20por%20m%C3%ADnimos%20cuadrados.doc>.
- [7] ABB Limited. Electromagnetic flowmeter MagMaster – Water & Waste water version. Disponible en <http://www.abb.es/product/seitp330/05d2d070fe77f6f0c1256d32002bffd.aspx>
- [8] **JIMÉNEZ, MANUEL**. Grupo ArqHys. [www.arqhys.com](http://www.arqhys.com). [En línea] [Citado el: 02 de octubre de 2011]. Disponible en <http://www.arqhys.com/contenidos/agua-sistema.html>.
- [9] **PÉREZ, RAFAEL**. Dimensionamiento óptimo de redes de distribución ramificadas considerando los elementos de regulación. Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Valencia Departamento de Ingeniería Hidráulica y medio ambiente. [En línea]. 1993. Disponible en <http://personales.upv.es/rperez/C3-Fund.pdf>.
- [10] **GIMÉNEZ LOPEZ, RICARD**. *Frio Industrial (Vol.1) Mantenimiento y Servicios a la Producción*. s.l.: Marcombo, S.A., 2005.
- [11] **CREUS SOLÉ, ANTONIO**. *Instrumentación Industrial*. s.l.: Marcombo S.A., 2010. VIII Edición.
- [12] Departamento de Industria y Negocios. Elementos electrónicos de vacío. <http://www.industriaynegocios.cl>. [En línea] 2008. [Citado el: 01 de febrero de 2011]. Disponible en <http://www.industriaynegocios.cl/Academicos/AlexanderBozger/Docts%20Docencia/Seminario%20de%20Aut/trabajos/Traabajos2006/presion/ELEMENTOS%20ELECTR%C3%93NICO%20DE%20VACIO.htm>.
- [13] **MOTT, ROBERT**. *Mecánica de fluidos*. Sexta edición. México: Pearson Education, 2006.
- [14] **BAPI**. Building Automation Products Inc. Designing 4-20mA current loops. <http://www.bapihvac.com/>. [En línea] 2011. [Citado el: 09 de mayo de 2011]. Disponible en <http://www.bapihvac.com/content/uploads/2010/07/Designing-4-20-mA-Current-Loops.pdf>.
- [15] **GONZÁLEZ, FRANCISCO**. Sistemas rcl. [www.sistemasrcl.com](http://www.sistemasrcl.com). [En línea] junio de 2007. [Citado el: 01 de febrero de 2011]. Disponible en [www.sistemasrcl.com/sitebuildercontent/.../6transmisores.pdf](http://www.sistemasrcl.com/sitebuildercontent/.../6transmisores.pdf).
- [16] Componentes Industriales Ltda. Lazo de corriente de 4-20mA. [www.comind.cl/cindustriales/](http://www.comind.cl/cindustriales/). [En línea] octubre de 2009. [Citado el: 2 de febrero de 2011] Santiago de Chile.
- [17] Mobile World Cat. <http://mobileworldcat.org/>. [En línea] 2011. [Citado el: 26 de enero de 2011]. Disponible en <http://mobileworldcat.org/mobile/networks/how-does-the-gprs-work.html>.
- [18] **BETTSTETTER CHRISTIAN, VÖGEL HANS-JÖRGL, EBERSPÄCHER JÖRG**. Ebookbrowse. [www.ebookbrowse.com](http://www.ebookbrowse.com). [En línea] 2010. [Citado el: 28 de enero de 2011]. Disponible en <http://ebookbrowse.com/ieee-gsm-gprs-architecture-protocols-pdf-d48421216>.
- [19] TEC electrónica S.A. Estándares de protección IP y Nema. [En línea] 2002. Disponible en [http://www.tecmex.com.mx/material/IP\\_Y\\_NEMA.pdf](http://www.tecmex.com.mx/material/IP_Y_NEMA.pdf)
- [20] Maxim Integrated Products. +5V-Powered, Multichannel RS-232 Drivers/Receivers, MAX220-MAX249. Disponible en <http://www.datasheetcatalog.org/datasheet/maxim/MAX220-MAX249.pdf>
- [21] Dallas semiconductor. DS1307 64x8 serial real-time clock.. Disponible en <http://www.sparkfun.com/datasheets/Components/DS1307.pdf>
- [22] Altamirano F. - Reporteros: Yáñez C. y Jaramillo D. 2007