

# INSTITUTO TECNOLOGICO DE TUXTLA GUTIERREZ



# Instituto Tecnológico De Tuxtla Gutiérrez

Centro Nacional De Investigación Y Desarrollo Tecnológico



## Unach

Centro de Investigación de la Facultad de Ingeniería

Tema de titulación:

**Diseño de un medidor de caudales acoplado a un aforador de garganta larga de sección crítica basado en electrónica digital.**

Presenta:

**Rosalía López Suárez**

Asesor interno del proyecto:

**Dr. Héctor Hernández de León**

**Ingeniería en electrónica**

Especialidad en Instrumentación y control

Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, Diciembre 2015

## Contenido

CAPITULO 1. INTRODUCCIÓN.....	5
1.1 ANTECEDENTES .....	5
1.2 JUSTIFICACIÓN.....	6
1.3 OBJETIVO GENERAL.....	8
1.3.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS:.....	8
1.4 PROBLEMAS A RESOLVER, PRIORIZÁNDOLOS .....	8
1.5 ALCANCES Y LIMITACIONES.....	8
CAPITULO 2. FUNDAMENTO TEORICO .....	9
2.1 SISTEMA AFORADOR .....	9
2.1.1 CANAL.....	9
2.1.2 FLUJO EN UN CANAL .....	10
2.1.3 TIPOS DE FLUJO .....	11
2.1.4 GEOMETRIA DEL CANAL .....	13
2.1.5 CARACTERÍSTICAS HIDRÁULICAS DEL CANAL.....	16
2.1.6 ECUACIONES FUNDAMENTALES DEL FLUJO UNIFORME.....	17
2.1.7 ECUACIÓN DE CONTINUIDAD (CONSERVACIÓN DE LA MASA) .....	17
2.1.8 ECUACIÓN DE LA ENERGÍA.....	19
2.1.9 ECUACIÓN DEL IMPULSO O CANTIDAD DE MOVIMIENTO.....	21
2.1.10 PRESIÓN .....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
2.1.11 PRESIÓN DE UN FLUIDO .....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
2.2 SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS.....	22
2.2.1 ARDUINO MEGA 2560 .....	22
2.2.2 ULTRASÓNICO .....	24
2.2.3 EL SENSOR HC-SR04 Y SU FUNCIONAMIENTO .....	24
2.2.4 TECLADO MATRICIAL.....	25
2.2.5 LCD .....	25
2.2.6 MICRO SD .....	27
CAPITULO 3 METODOLOGIA Y DESARROLLO .....	28
3.1 DIAGRAMA A BLOQUES DEL SISTEMA (ETAPAS DE SENSADO, PROCESAMIENTO Y VISUALIZACIÓN) .....	28
3.2 SIMULACION.....	29

CAPITULO 4. RESULTADOS .....	30
4.1 DIAGRAMA A BLOQUES DEL PROGRAMA .....	30
4.2 DATOS ADQUIRIDOS.....	31
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	35
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	36
ANEXOS .....	37

## CAPITULO 1. INTRODUCCIÓN

El agua necesaria para satisfacer todas las exigencias del mundo moderno proviene de manantiales superficiales o subterráneos. Como el hombre se ha comportado generalmente como un elemento contra el orden del sistema natural, las aguas superficiales están casi totalmente contaminadas. El agua no se distribuye uniformemente en el tiempo y el espacio. A veces se encuentran grandes volúmenes lejos de los centros de población o cuando están próximas, pueden resultar impropias para el consumo. A veces pequeños ríos tienen agua en condiciones satisfactorias, pero no son aprovechables porque en ciertas épocas del año, su flujo es nulo. La responsabilidad del control y distribución de las aguas normalmente compete a los gobiernos y las comunidades, pero los aspectos técnicos de estas actividades encajan dentro de las responsabilidades del ingeniero civil. Le corresponde entre otras cosas, proyectar, diseñar, construir y administrar las obras relacionadas con ríos, canales, presas, sistemas de irrigación y drenaje, redes de abastecimiento de agua, alcantarillado pluvial y sanitario; en realidad, él es el ingeniero por excelencia del ambiente. La responsabilidad del ingeniero civil es inmensa porque los conocimientos de la Hidráulica se basan en cientos de años de empirismo, muchos años de estudios teóricos y de análisis científicos, y pocos años de experiencia con las técnicas modernas de instrumentación y computación aplicada a los problemas relacionados con los recursos hidráulicos.

### 1.1 ANTECEDENTES

En todo el mundo, el empleo del agua y su gestión han sido un factor esencial para elevar la productividad de la agricultura y asegurar una producción previsible. El agua es esencial para aprovechar el potencial de la tierra y para permitir que las variedades mejoradas tanto de plantas como de animales utilicen plenamente los demás factores de producción que elevan los rendimientos. Al incrementar la productividad, la gestión sostenible del agua (especialmente si va unida a una gestión adecuada del suelo) contribuye a asegurar una producción mejor tanto para el consumo directo como para el comercio, favoreciendo así la producción de los excedentes económicos necesarios para elevar las economías rurales.

Desde los años sesenta, la producción mundial de alimentos ha mantenido el paso del crecimiento demográfico, suministrando más alimentos por cápita a precios cada vez más bajos en general, pero a costa de los recursos hídricos. Al final del siglo XX, la agricultura empleaba por término medio el 70 por ciento de toda el agua utilizada en el mundo, y la FAO estima que el agua destinada al riego aumentará un 14 por ciento para 2030. Aunque este aumento es muy inferior al registrado en los años noventa, según las proyecciones, la escasez de agua será cada vez mayor en algunos lugares y, en algunos casos, en algunas regiones, lo que limitará la producción local e alimentos.

La mejora en la utilización del agua tanto en la agricultura de secano como en la de regadío será fundamental para afrontar las situaciones previstas de escasez de agua. La mejora de la utilización o de la productividad del agua se entiende frecuentemente en términos de obtener la mayor cantidad de cultivos posible por volumen de agua: "más cultivos por gota". Es posible que los agricultores prudentes con respecto al dinero prefieran fijarse como objetivo el máximo de ingresos por unidad de agua: "más dólares por gota", mientras que los dirigentes de las comunidades y los responsables de las políticas podrán tratar de conseguir el máximo empleo y los máximos ingresos en todo el sector agrícola: "más puestos de trabajo por gota". Por consiguiente, en un sentido amplio, el incremento de la productividad en la agricultura puede dar lugar a mayores beneficios por cada unidad de agua tomada de los recursos hídricos naturales. Sin embargo, los cambios que ello provocaría en la utilización del agua en la agricultura exigen respuestas de los gobiernos para asegurar la productividad y la utilización sostenible de los recursos de tierras y aguas de los que depende la agricultura.

## 1.2 JUSTIFICACIÓN

El agua es el recurso más importante; ya que las plantas, los animales y el ser humano dependen de su existencia; pero las aguas dulces existentes, que pueden usarse de forma económicamente viable y sin generar grandes impactos negativos en el ambiente, son menores al 1% del agua total del planeta. Por otro lado, el crecimiento demográfico, el aumento de los regímenes de demanda y la contaminación del líquido han mermado el volumen per cápita disponible. Esta disminución de consumo de agua obliga a la sociedad, para la protección de los patrones de vida, aplicar criterios de conservación y de uso sustentable del agua. De acuerdo con la Ley de Aguas Nacionales en México, el agua puede tener usos consuntivos y no consuntivos; entre los primeros están el abastecimiento urbano, la agricultura, el pecuario y la industria, y entre los segundos la producción de energía eléctrica, la refrigeración de plantas industriales y centrales energéticas, la acuicultura y los caudales con fines ambientales y paisajísticos.

La mayor parte del agua consumida por el hombre se destina a usos consuntivos, a la irrigación, al ganado y al uso doméstico. La agricultura emplea más del 70% del agua utilizada en el mundo (FAO, 2002). Esta baja eficiencia, convierte a la agricultura en el sector donde se pueden adoptar los mayores cambios tecnológicos que permitan compensar las mermas per cápita antes mencionadas. En México, el uso consuntivo mayor es el agrícola, que representa un 78% de la extracción, seguido por el uso público urbano con un 12%.

De cada 100 litros de agua que se usa en el país, 80 litros se aplican a zonas agrícolas de riego y la eficiencia de estos sistemas, especialmente los que operan por gravedad es del 50%. Una de las causas de la baja eficiencia es que no se mide correctamente los volúmenes de agua entregada a los usuarios de riego (agricultores) y por lo tanto la Comisión Nacional del Agua no puede cobrarles correctamente, ni en volumen (porque no existen sistemas de medición volumétrica en los canales de riego del país) ni el costo adecuado por el consumo

habido (el precio del agua es muy barato y se consume de más). Un sistema volumétrico como el aquí estipulado permitiría avanzar en ambos aspectos y en la eficiencia del uso del agua, en un sector que consume casi la totalidad del agua destinada para diversos usos de forma anual en México.

Es por ello la implementación de un sistema electrónico para la medición de volumen de un caudal para un sistema de riego existen diversos factores a considerar como es la selección eficaz de un medidor de caudal exige un conocimiento práctico de la tecnología del medidor, además de un profundo conocimiento del proceso y del fluido que se quiere medir.

Cuando la medida del caudal se utiliza con el propósito de facturar un consumo, deberá ser lo más precisa posible, teniendo en cuenta el valor económico del fluido que pasa a través de determinada longitud, y la legislación obligatoria aplicable en cada caso.

Estos últimos datos, no obstante se obtendrán en términos de requerimientos al diseñar las instalaciones también deberán tenerse presentes en todo momento mientras el sistema opere. De ahí que resulte importante el que el agricultor conozca y se familiarice tanto con los conceptos de presión y caudal, como también con la formas que podrá utilizar para medirlos.

La presente apunta primero a entregar conceptos generales de la medida de caudal y las características de los diversos instrumentos de medida.

Así como procedimientos de medición; y en segundo lugar a proporcionar una guía para que el agricultores pueda realizar algunos chequeos periódicos de dichos parámetros, cuando sea pertinente y necesario, complementándose con los contenidos entregados en otras cartillas divulgativas, principalmente en lo que dice relación con la medición de uniformidad del sistema y evaluación del riego.

### **1.3 OBJETIVO GENERAL**

Diseñar, implementar y calibrar un circuito digital que permita la medición precisa de caudales y el volumen de agua total escurrido en canales de riego acoplado a un aforador de garganta larga de sección crítica.

#### **1.3.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS:**

1. Determinar el sensor de presión que cumpla las condiciones de precisión y rangos de presión del proyecto.
2. Construir y calibrar el circuito digital que permita la medición precisa de caudales en canales de riego.
3. Acoplar y cuantificar las variables de caudal y volumen del canal de pendiente variable escurridos en el tiempo real con el circuito digital.

### **1.4 PROBLEMAS A RESOLVER, PRIORIZÁNDOLOS**

1. Revisión bibliográfica sobre canales de riego de pendiente variable y sensores de presión.
2. Selección del sensor de presión del sistema de medición y diseño del circuito electrónico digital para medir caudales y volúmenes escurridos.
3. Calibración del sistema electrónico de medición de caudales y volúmenes escurridos.

### **1.5 ALCANCES Y LIMITACIONES**

El proyecto se enfocó en el diseño de un medidor de caudales acoplado a un aforador de garganta larga de sección crítica basado en electrónica digital, pero dados los tiempos de adquisición del sensor se optó por hacer una simulación con el objeto de hacer pruebas y calibración del circuito digital.

## CAPITULO 2.FUNDAMENTO TEORICO

### 2.1 SISTEMA AFORADOR

#### 2.1.1 CANAL

Los canales son conductos en los que el agua circula debido a la acción de la gravedad y sin ninguna presión, pues a superficie libre del líquido está en contacto con la atmosfera. Los canales pueden ser naturales (Ríos o arroyos) o artificiales (construidos por el hombre). Dentro de estos últimos pueden incluirse aquellos conductos cerrados que trabajan parcialmente llenos (alcantarillas, tuberías)

- Los canales naturales influyen todos los tipos de agua que existen de manera natural en la tierra, lo cuales varían en tamaño desde pequeños arroyuelos en zonas montañosas hasta quebradas, arroyos, ríos pequeños y grandes, y estuarios de mareas. Las corrientes subterráneas que transportan agua con una superficie libre también son consideradas como canales abiertos naturales.

Las propiedades hidráulicas de un canal natural por lo general son muy irregulares. En algunos casos pueden hacerse suposición es empíricas razonablemente consistente en las observaciones y experiencias reales, de tal modo que las condiciones de flujo en estos canales se vuelvan manejables mediante tratamiento analítico de la hidráulica teórica.

- Los canales artificiales son aquellos construidos o desarrollados mediante el esfuerzo humano: canales de navegación, canales de centrales hidroeléctricas, canales y canaletas de irrigación, cunetas de drenaje, vertederos, canales de desborde, canaletas de madera, cunetas a lo largo de carreteras etc. así como canales de modelos de laboratorio con propósitos experimentales las propiedades hidráulicas de estos canales pueden ser controladas hasta un nivel deseado o diseñadas para cumplir unos requisitos determinados.

La aplicación de las teorías hidráulicas a canales artificiales producirán, por tanto, resultados bastantes similares a las condiciones reales y, por consiguiente, son razonablemente exactos para propósitos prácticos de diseños.

La canaleta es un canal de madera, de metal, de concreto de mampostería, a menudo soportado en o sobre la superficie del terreno para conducir el agua a través de un de una depresión. La alcantarilla que fluye parcialmente llena, es un canal cubierto con una longitud compartida mente corta instalada para drenar el agua a través de terraplenes de carreteras o de vías férreas. El túnel con flujo a superficie libre es un canal compartida mente larga, utilizada para conducir el agua a través de una colina o a cualquier obstrucción del terreno.

### 2.1.2 FLUJO EN UN CANAL

El flujo en un canal se produce, principalmente, por la acción de la fuerza de gravedad que caracteriza por exponer una superficie libre a la presión atmosférica, siendo el fluido siempre un líquido, por lo general agua.

El movimiento de un líquido a superficie libre se ve afectado por las mismas fuerzas que intervienen en el flujo dentro de un tubo, a saber:

- La fuerza de gravedad, como la más importante en el movimiento.
- La fuerza de resistencia ocasionada en las fronteras rígidas por la fricción y la naturaleza casi siempre turbulenta del flujo.
- La fuerza producida por la presión que se ejerce sobre las fronteras del canal particularmente en las zonas donde cambia su geometría.
- La fuerza debida a la viscosidad del líquido, de poca importancia si el flujo es turbulento.

A estas se agregan, excepcionalmente, las siguientes:

- La fuerza de tensión superficial, consecuencia directa de la superficie libre.
- Las fuerzas ocasionales debidas al movimiento del sedimento arrastrado.

La superficie libre se considera como la intercalada entre dos fluidos: el superior, que es aire estacionario o en movimiento y el inferior, que usualmente es agua en movimiento. Las fuerzas de gravedad y de tensión superficial resisten cualquier fuerza tendiente a distorsionar la intercalada, la cual constituye una frontera sobre la que se tiene un control parcial.

La aparente simplicidad resultante de la superficie libre es irreal, ya que su tratamiento es, en la práctica, más complejo que el de un conducto a presión. La interacción entre las fuerzas da lugar a la complejidad y únicamente a base de simplificaciones y generalizaciones es posible entender su mecánica.

De acuerdo con su origen, los canales pueden ser naturales o artificiales. Los naturales son las conducciones hidráulicas que existen para el drenaje natural sobre la tierra, como arroyos, ríos, estuarios, etc. Los artificiales son los construidos por el hombre para fines de riego, drenaje, generación de energía, navegación etc.

El flujo en un canal natural se aloja dentro de lo que se llama cauce, producido por el movimiento del agua al paso de los siglos. Su perfil longitudinal es sinuoso, su sección transversal es irregular, y tiene forma y dimensiones que varían continuamente a lo largo del mismo.

Los canales artificiales tienen, por lo general, secciones geométricas de forma y dimensiones constantes en tramos más o menos largos. Algunas definiciones particulares de dichos canales se indican a continuación.

Acueducto es un canal construido sobre el nivel del terreno a través de una depresión topográfica. Rápida es un canal de gran inclinación. Caída es una rápida muy contra (incluso de longitud cero), en la que el piso sigue la forma del perfil inferior de la lámina de agua cayendo libremente.

La superficie o línea generada en el fondo por la base o vértice más bajo de la sección se conoce como plantilla o solera. Su inclinación, en el sentido de la corriente y respecto de la horizontal, puede ser constante en tramos largos.

Cuando el tramo de un canal tiene sección transversal e inclinación de plantilla constantes, se denomina prismático.

Un canal natural nunca es prismático. El flujo en un río por lo general arrastra material sólido (materia en suspensión, arena, grava e incluso grandes piedras), que modifica continuamente la forma, dimensiones de la sección y perfil del cauce e impide una definición precisa de su rugosidad. El movimiento visto con este enfoque es aun más complejo y se estudia con detenimiento en la hidráulica fluvial. Posteriormente se exponen los conceptos básicos en la formación de las ondulaciones del fondo, la resistencia al flujo que ellas producen y el transporte de sedimentos.

### 2.1.3 TIPOS DE FLUJO

El flujo en canales abierto puede clasificarse en muchos tipos y distribuirse de diferentes maneras. La siguiente clasificación se hace de acuerdo con el cambio en la profundidad del flujo con respecto al tiempo y al espacio.

- **FLUJO PERMANENTE Y NO PERMANENTE:** tiempo como criterio. Se dice que el flujo en un canal abierto es permanente si la profundidad del flujo no cambia o puede suponerse constante durante el intervalo de tiempo en consideración.
- **EL FLUJO ES NO PERMANENTE** si la profundidad no cambia con el tiempo. En la mayor parte de canales abiertos es necesario estudiar el comportamiento del flujo solo bajo condiciones permanentes. Sin embargo el cambio en la condición del flujo con respecto al tiempo es importante, el flujo debe tratarse como no permanente, el nivel de flujo cambia de manera instantánea a medida que las ondas pasan y el elemento tiempo se vuelve de vital importancia para el diseño de estructuras de control. Para cualquier flujo, el caudal  $Q$  en una sección del canal se expresa por  $Q=VA$ . Donde  $V$  es la velocidad media y  $A$  es el área de la sección transversal de flujo perpendicular a la dirección de este, debido a que la velocidad media está definida como el caudal dividido por el área de la sección transversal.

- **FLUJO UNIFORME Y FLUJO VARIADO:** espacio como criterio. Se dice que el flujo en canales abiertos es uniforme si la profundidad del flujo es la misma en cada sección del canal. Un flujo UNIFORME puede ser permanente o no permanente, según cambie o no la profundidad con respecto al tiempo. El flujo uniforme permanente es el tipo de flujo fundamental que se considera en la hidráulica de canales abiertos. La profundidad del flujo no cambia durante el intervalo de tiempo bajo consideración. El establecimiento de un flujo uniforme no permanente requeriría que la superficie del agua fluctuara de un tiempo a otro pero permaneciendo paralela al fondo del canal.  
El flujo es VARIADO si la profundidad de flujo cambia a lo largo del canal.
- El flujo VARIADO PUEDE SER PERMANENTE O NO PERMANENTE es poco frecuente, el término "FLUJO NO PERMANENTE" se utilizara de aquí en adelante para designar exclusivamente el flujo variado no permanente.

El flujo variado puede clasificarse además como rápidamente varia o gradualmente variado. El flujo es rápidamente variado si la profundidad del agua cambia de manera abrupta en distancias compartida mente cortas; de otro modo, es gradualmente variado. Un flujo rápidamente variado también se conoce como fenómeno local.

**ESTADO DE FLUJO.** El estado o comportamiento del flujo en canales abiertos está gobernado básicamente por los efectos de viscosidad y gravedad con relación con las fuerzas inerciales del flujo.

**EFFECTO DE VISCOSIDAD.** El flujo puede ser laminar, turbulento o transaccional según el efecto de la viscosidad en relación de la inercia.

**EL FLUJO ES LAMINAR:** si las fuerzas viscosas son muy fuertes en relación con las fuerzas inerciales, de tal manera que la viscosidad juega con un papel muy importante en determinar el comportamiento del flujo. En el flujo laminar, las partículas de agua se mueven en trayectorias suaves definidas o en líneas de corriente, y las capas de fluido con espesor infinitesimal parecen deslizarse sobre capas adyacentes.

**EFFECTO DE LA GRAVEDAD.** El efecto de la gravedad sobre el estado del flujo representa por relación por las fuerzas inerciales y las fuerzas gravitacionales.[1]

**REGIMENES DE FLUJO:** en un canal el efecto combinado de la viscosidad y la gravedad puede producir cualquiera de 4 regímenes de flujo, los cuales son:

1. subcrítico-laminar
2. súper crítico-laminar
3. subcrítico-turbulento
4. supercrítico-turbulento

#### 2.1.4 GEOMETRÍA DEL CANAL.

En lo relativo a la geometría en el sentido longitudinal, pendiente de un canal es el cociente  $S_0$  del desnivel entre dos puntos sobre la plantilla y la distancia horizontal que los separa. De acuerdo con la figura 2.1 a  $S_0 = \tan\theta$ , donde  $\theta$  es el ángulo de inclinación de la plantilla respecto de la horizontal. En canales naturales la definición equivale a la pendiente media entre dos puntos.

En la práctica es común que  $\theta$  sea menor o igual a  $0.14 \text{ rad}(8^\circ)$ . Esto es, canales de pendiente pequeña, para los que  $\tan\theta \leq 0.14054$  y  $\text{sen}\theta \leq 0.13917$ , de modo que la pendiente se puede confundir con  $\text{sen}\theta$ , sin incurrir en error mayor del uno por ciento.

De acuerdo con la definición general de una conducción, la sección transversal de un canal se refiere a la sección perpendicular al fondo o a la línea de inclinación media de su plantilla (figura 2.1).

La sección de los canales naturales es de forma muy irregular y varía continuamente de un sitio a otro. Los artificiales con frecuencia se diseñan con sección geométricas regulares, siendo las más comunes: la trapecial, la rectangular, la triangular y la semicircular. La parabólica se usa como aproximaciones en los naturales. En túneles donde el flujo sea superficie libre, es frecuente encontrar las formas circular y de herradura.

La selección de la forma de la sección depende del tipo de canal que se va a construir, siendo la trapecial la más común en los revestidos y no revestidos, la rectangular en los revestidos con materiales estables (concreto, mampostería, madera, etc.), la triangular en los pequeños y en cunetas y la circular en alcantarillas, colectores y túneles. Existen formas compuestas de las anteriores que son de gran utilidad en conductos abovedados, como grandes alcantarillas y emisores, que por sus dimensiones se permite el paso del hombre en su interior.

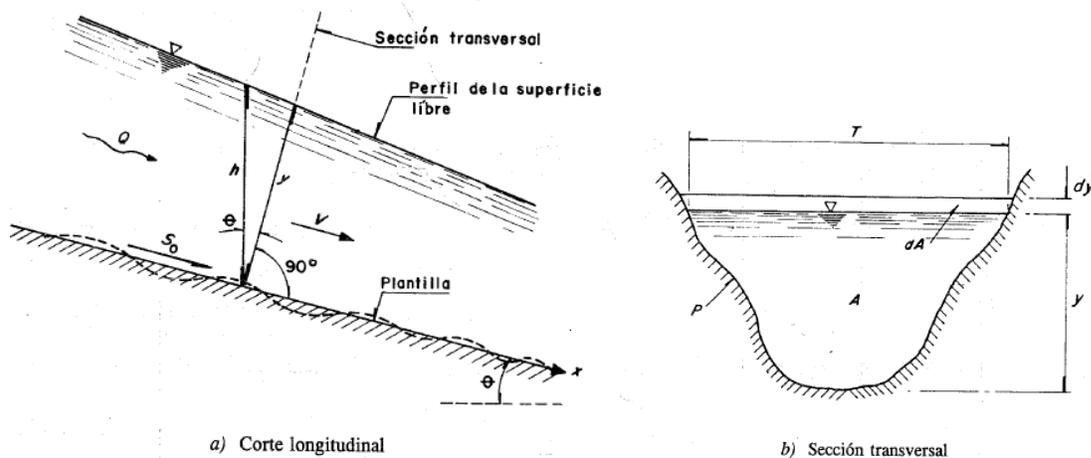


Figura 2.1 elementos geométricos de un canal

La sección transversal de un canal se localiza mediante la coordenada  $x$  sobre la plantilla según su eje. Los elementos geométricos más importantes de la sección se describen a continuación.

**Tirante.** Es la distancia y perpendicular a la plantilla, medida donde el punto más bajo de la sección hasta la superficie libre del agua. Es decir es normal a la coordenada  $x$ . algunos autores lo designan como  $d$ , que también se emplea en este, cuando  $y$  se usa como otro tipo de coordenada.

Se designa por  $h$  a la distancia vertical desde la superficie libre al punto más bajo de la sección (figura 1.1a), es decir a la profundidad de dicho punto, y se satisface la relación de la ecuación 2.1

$$y = h \cos \theta \tag{Ec.2.1}$$

Siempre que la superficie libre sea paralela a la plantilla o  $\theta$  sea pequeño. De no ser así, la relación entre  $y$  y  $h$  es más complicada.

**Ancho de superficie libre.** Es el ancho  $T$  de la sección del canal, medido al nivel de la superficie libre.

**Área hidráulica.** Es el área  $A$  ocupada por el flujo en la sección del canal.

Es fácil observar que en la ecuación 2.2 el incremento diferencial del área  $dA$ , producido por el incremento  $dy$  del tirante es  $dA = T dy$ , y por tanto

$$T = \frac{dA}{dy} \tag{Ec. 2.2}$$

Perímetro mojado. Es la longitud  $P$  de la línea de contacto entre el agua y las paredes del canal es decir, no incluyen a la superficie libre.

Radio hidráulico. Es el cociente  $R_h$  del área hidráulica y el perímetro mojado ecuación 2.3

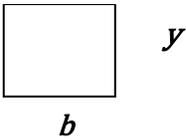
$$R_h = \frac{A}{P} \quad \text{EC. 2.3}$$

Tirante medio o tirante hidráulico. Es la relación  $Y$  entre el área hidráulica y el ancho de la superficie libre ecuación 2.4

$$Y = \frac{A}{T} \quad \text{EC. 2.4}$$

Talud. Designa la inclinación de las paredes de la sección y corresponde a la distancia  $k$  recorrida horizontalmente desde un punto sobre la pared, para ascenderla unidad de longitud a otro punto sobre la misma. Por lo general se expresa  $k:1$  sin embargo es suficiente con indicar el valor de  $k$ . La tabla 2.1 presenta los elementos geométricos de las secciones más comunes de los canales artificiales expresados en términos del tirante.

Tabla 2.1 elementos geométricos de las secciones en canales artificiales

Sección	Rectangular
Elemento Geométrico	
Área, A	$by$
Perímetro Mojado P	$b+2y$
Radio Hidráulico $R_h = A/P$	$\frac{by}{b + 2y}$
Ancho De La Superficie	$b$
Tirante Medio	$y$

### 2.1.5 CARACTERÍSTICAS HIDRÁULICAS DEL CANAL

La mayoría de las veces, las secciones transversales (area de flujo) representan trapecios, rectángulos, ovalos, círculos, etc., parcialmente llenos de agua, el perfil más difundido del canal abierto es el trapezoidal, se explica por el hecho de que sus taludes son mucho más estables que los de las secciones de otros tipos.

Para realizar los cálculos de la sección hidráulica adoptaremos las siguientes designaciones:

$y$  = distancia vertical del fondo a la superficie libre

$b$  = ancho del fondo o base del canal

$d$  = distancia perpendicular del fondo a la superficie libre (tirante del flujo).

$T$  = ancho de la sección del canal en la superficie libre

$A$  = área de la sección transversal del flujo normal a la dirección del flujo

$P$  = perímetro mojado

$R$  = radio hidráulico  $R_H = \frac{A}{P}$

$D$  = profundidad hidráulica (tirante medio)  $D = \frac{A}{T}$

$Z$  = factor de sección:

Para flujo uniforme  $Z = A * R$

$z$  = talud o inclinación de la superficie laterales (canales triangulares, trapezoidales, con fondo redondeado).

$s_0$  = Pendiente del fondo (o pendiente de la planilla).

$S$  = pendiente de la superficie libre del líquido.

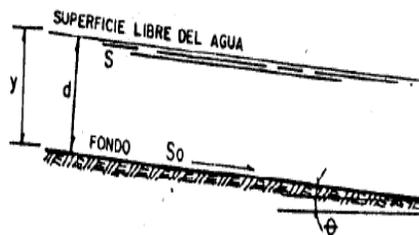


Figura 2.2. Corte longitudinal del canal

En nuestro caso las medidas del caudal de la figura 2.2 son de 8cm de ancho, 25 cm de alto y una longitud de 5 metros la velocidad va como de 25 litros/segundo.

### 2.1.6 ECUACIONES FUNDAMENTALES DEL FLUJO UNIFORME

En la mecánica de fluidos los métodos de análisis consideran la capacidad de un flujo para transportar materia y el mecanismo por el que se cambia sus propiedades de un lugar a otro, para lo cual se establece como axioma que en los fluidos se satisfagan los principios básicos de la mecánica del medio continuo.

1. Conservación de la materia
2. Segunda ley de Newton
3. Conservación de la energía
4. Segunda ley de la termodinámica

Para nuestro principal interés que es el de estudiar el escurrimiento de líquidos, siendo a aun más específico; agua. Basta con la obtención de las tres ecuaciones fundamentales de la hidráulica. Partiendo únicamente con los dos primeros principios antes mencionados.

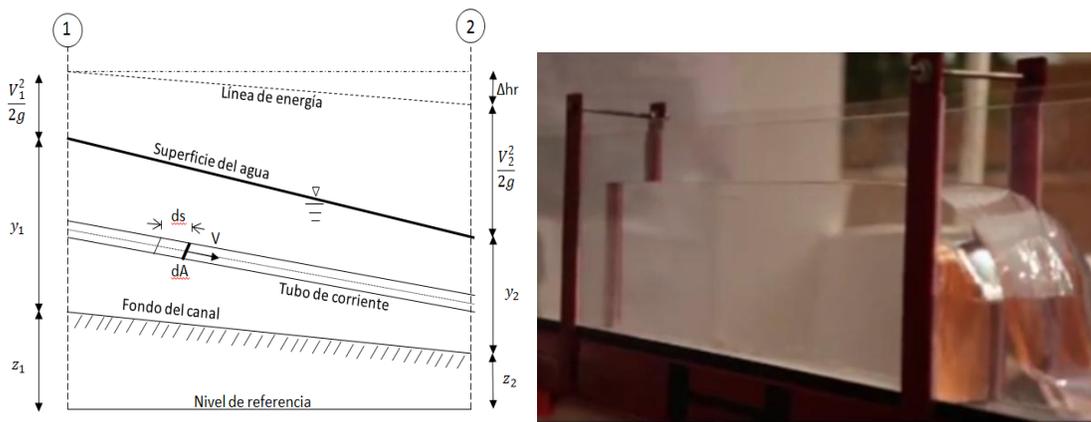


Figura. 2.3 Esquema de flujo en canales a superficie libre

Para la mayoría de las aplicaciones prácticas de la hidráulica es suficiente considerar a la corriente total como un tubo de corriente, con una velocidad promedio  $V$  en cada sección transversal.

### 2.1.7 ECUACIÓN DE CONTINUIDAD (CONSERVACIÓN DE LA MASA)

La cantidad de masa que fluye a través de una sección transversal por unidad de tiempo se llama razón de flujo de masa, o simplemente flujo o gasto másico.

El gasto diferencial de masa de agua  $E_{c.2.5}$  que fluye a través de un pequeño elemento de área  $dA$ , en una sección transversal, es directamente proporcional al propio  $dA$ , a la densidad  $\rho$  del fluido y a la componente de la velocidad  $V$  del flujo normal a  $dA$  (Figura 1.1).

$$dQ = \rho (\vec{V} \cdot \vec{n}) dA \quad \text{Ec. (2.5)}$$

Bajo las hipótesis siguientes de que en una sección cualquiera de la superficie de control:

- a) el líquido es homogéneo

El vector normal  $\vec{n}$  y el vector de velocidad  $\vec{V}$  del flujo siempre siguen la misma dirección a través de toda la sección. Entonces el producto punto  $(\vec{V} \cdot \vec{n})$  se convierte, simplemente, en la magnitud de la velocidad  $V$

- b) el fluido es incompresible

Las relaciones de conservación de la masa se pueden simplificar todavía más cuando el fluido es incompresible, el cual suele ser el caso para los líquidos. Entonces para este caso la densidad es constante.  $\rho = \text{constante}$ .

Aceptando las hipótesis anteriores entonces la ecuación 2.1 del principio de conservación de masa se puede escribir de la siguiente forma de la ec.2.6:

$$dQ = V dA \quad \text{Ec.(2.6)}$$

Al integrar esta ecuación en el volumen de control seleccionado dentro del campo total del flujo, entre las secciones transversales 1 y 2. Resulta la ecuación 2.7:

$$\int dQ = \int V dA \quad \text{Ec.(2.7)}$$

Desarrollando la integral queda:

$$Q = V A = cte \quad \text{Ec.(2.8)}$$

O bien

$$Q = V_1 A_1 = V_2 A_2 = cte \quad \text{Ec.. (2.9)}$$

Es decir, el gasto o caudal  $Q = VA$  se mantiene constante a lo largo de la sección de control.

La ecuación es válida tanto para flujo estacionario (constante con respecto al tiempo) como para flujo no estacionario (variable entre instantes de tiempo).

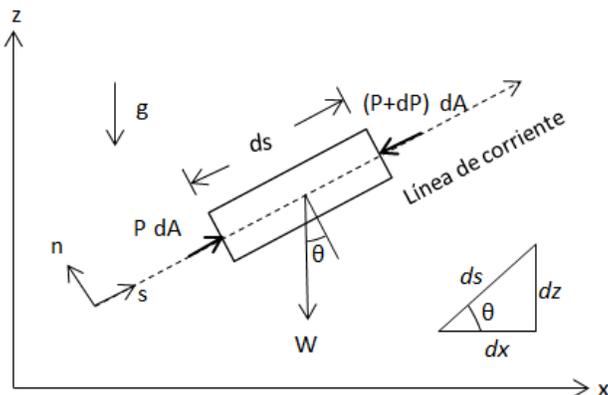


Figura 2.4 Fuerzas que actúan sobre una partícula de fluido a lo largo de una línea de corriente.

### 2.1.8 ECUACIÓN DE LA ENERGÍA

Considere el movimiento de una partícula de fluido en un campo de flujo estacionario (Figura 2.4). Cuando se aplica la segunda ley de Newton (la cual se define como la relación de conservación del momento lineal en la mecánica de fluidos) en la dirección  $s$ , sobre una partícula en movimiento a lo largo de una línea de corriente, da ecuación 2.10:

$$\sum F_s = m a_s \tag{Ec. (2.10)}$$

En el segundo miembro de la ecuación del movimiento se tiene el cambio correspondiente de energía cinética. Siendo un elemento de masa  $m = \rho dA ds$  (Figura 2.3) y el vector,  $a_s$  definido como  $V \frac{dV}{ds}$ .

Despreciando las fuerzas de fricción (viscosidad) y considerando que la presión en cualquier punto no varía en el tiempo y se considera únicamente las fuerzas de gravedad (peso de la partícula), entonces la ecuación 2.11 de la energía para el elemento  $dm$  se escribe de la forma siguiente:

$$P dA - (P + dP)dA - W \text{ sen } \theta = \rho dA ds V \frac{dV}{ds} \tag{Ec. (2.11)}$$

Donde  $W = mg = \rho g dA ds$  es el peso de la partícula de fluido y  $\text{sen } \theta = dz/ds$ . Sustituyendo estos valores y cancelando  $dA$  de cada término para simplificar, obtenemos ecuación 2.12:

$$-dP - \rho g dz = \rho V dV \quad \text{Ec. (2.12)}$$

La ecuación 2.13 Integra la ecuación anterior, notando que  $V dV = \frac{1}{2}d(V^2)$  y dividiendo cada término entre  $\rho$ , entonces queda:

$$\int \frac{dP}{\rho} + \frac{V^2}{2} + gz = cte \quad \text{Ec. (2.13)}$$

La ecuación anterior es la ecuación general para un flujo estacionario a lo largo de una línea de corriente.

Ahora bien, para el caso del flujo incompresible, donde  $\rho = \text{constante}$  y desarrollando la integración, la ecuación 2.8 queda simplificada de la siguiente forma ecuación 2.14:

$$\frac{P}{\rho} + \frac{V^2}{2} + gz = cte \quad \text{Ec. (2.14)}$$

La ecuación 2.15 es conocida también como la ecuación de Bernoulli, que también puede escribirse entre dos puntos cualesquiera sobre la misma línea de corriente, y si además consideramos el coeficiente  $\alpha$  de corrección de la energía cinética (coeficiente de coriolis) entonces estaremos definiendo a la *ecuación de la energía* como:

$$\frac{P_1}{\rho} + \alpha \frac{V_1^2}{2} + gz_1 = \frac{P_2}{\rho} + \alpha \frac{V_2^2}{2} + gz_2 + \Delta hr \quad \text{Ec. (2.15)}$$

Donde  $\Delta hr$  es la pérdida de energía entre las dos secciones (recordemos que para este caso estamos despreciando las pérdidas de energía provocadas por la viscosidad). *La suma de estos tres términos (energía potencial, energía de presión y carga de velocidad) se conoce como carga total de energía, H.* La ecuación de la energía queda entonces de la siguiente forma de la ecuación 2.16:

$$\frac{P}{\rho g} + \alpha \frac{V_1^2}{2g} + z = H \quad \text{Ec. (2.16)}$$

### 2.1.9 ECUACIÓN DEL IMPULSO O CANTIDAD DE MOVIMIENTO

La ecuación de la cantidad de movimiento en un cuerpo libre o volumen de control se deriva de la segunda ley de Newton. La segunda ley de Newton afirma que la aceleración de un cuerpo es proporcional a su masa, y que la razón de cambio de la cantidad de movimiento de un cuerpo es igual a la fuerza neta que actúa sobre ese cuerpo. El producto de la masa y de la velocidad de un cuerpo se llama *cantidad de movimiento*.

Para el elemento de masa  $dm = \rho ds dA$  (Figura 2.3) y la ecuación 2.5 que describe la segunda ley de Newton se tiene entonces la ecuación 2.17:

$$d\vec{F} dt = \rho ds dA d\vec{V} \quad \text{Ec. (2.17)}$$

Donde  $dF$  es la fuerza exterior resultante sobre el elemento de volumen considerado.

Las fuerzas externas son de dos tipos:

- a) Fuerzas de superficie que actúan sobre la masa de fluido. A su vez pueden ser:
  - Fuerzas  $F_p$ , fuerza resultante de la presión ejercida sobre las superficies de frontera del volumen de control.
  - Fuerzas  $F_\tau$ , fuerza resultante producida por el esfuerzo tangencial generado sobre el fondo y paredes del volumen de control.
- b) Fuerzas de cuerpo  $F_c$ , debido al peso del volumen de control.

Si consideramos que el flujo es estacionario y además es incompresible ( $\rho = \text{constante}$ ) y que el volumen de control está limitado por las secciones 1 y 2, sustituyendo la ecuación 2.12 por las relaciones  $ds = v dt$  y  $dQ = v dA$ , para luego de dividir entre  $dt$ . Así resulta la *ecuación 2.18 de la cantidad de movimiento*:

$$\vec{F} = \rho Q (\beta_2 V_2 - \beta_1 V_1) \quad \text{Ec. (2.18)}$$

$\vec{F} = F_p + F_\tau + F_c$ , representa la fuerza resultante que actúa desde el exterior sobre el volumen de control considerado, y  $\beta$  es un coeficiente de corrección (denominado también coeficiente de Boussinesq) (Naudascher, 1999).

## 2.2 SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS

### 2.2.1 ARDUINO MEGA 2560

El Arduino Mega 2560 es una placa electrónica basada en el Atmega2560 ( ficha técnica ). Cuenta con 54 pines digitales de entrada / salida (de los cuales 15 se pueden utilizar como salidas PWM), 16 entradas analógicas, 4 UARTs (puertas seriales), un 16 MHz del oscilador de cristal, una conexión USB, un conector de alimentación, un header ICSP, y un botón de reinicio. Contiene todo lo necesario para apoyar el micro controlador; basta con conectarlo a un ordenador con un cable USB o el poder con un adaptador o la batería AC-to-DC para empezar. La Mega es compatible con la mayoría de los escudos diseñados para el Arduino Duemilanove o Diecimila.

El Mega 2560 es una actualización de la Mega Arduino , a la que sustituye.

El Mega2560 difiere de todas las placas anteriores en que no utiliza el chip controlador de USB a serial FTDI. En lugar de ello, cuenta con la ATmega16U2 (ATmega8U2 en las juntas de revisión 1 y revisión 2) programado como un convertidor de usb a serie.

Revisión 2de la junta Mega2560 tiene una resistencia tirando de la línea 8U2 HWB a tierra, por lo que es más fácil de poner en modo DFU .

Revisión 3 de la Junta tiene las siguientes características nuevas:

- 1.0 pinout: SDA añadido y pines SCL que están cerca al pin AREF y otros dos nuevos pernos colocados cerca del pin de RESET, la instrucción IOREF que permiten a los escudos para adaptarse al voltaje suministrado desde la pizarra. En el futuro, los escudos serán compatibles tanto con la placa que utilice el AVR, que operan con 5V y con el Arduino Debido que operan con 3.3V. El segundo es un pin no está conectado, que se reserva para usos futuros.
- Circuito de rearme fuerte.
- Atmega 16U2 sustituir el 8U2.[3]

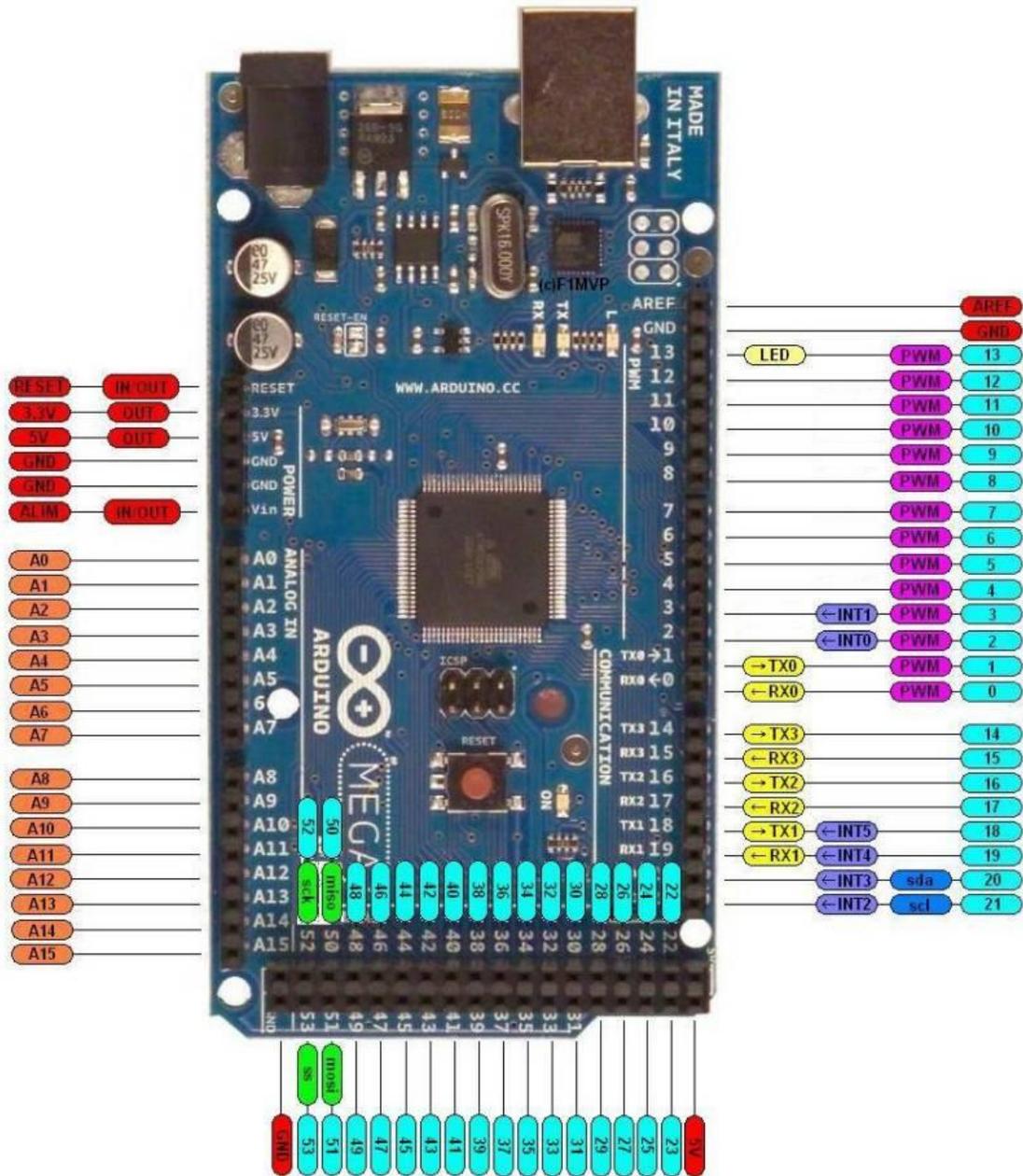


Figura 2.5 Esquema de arduino mega

### 2.2.2 ULTRASÓNICO

Un ultrasonido es una onda acústica o sonora cuya frecuencia está por encima del espectro audible del oído humano (aproximadamente 20.000 Hz).[4]

### 2.2.3 EL SENSOR HC-SR04 Y SU FUNCIONAMIENTO

Como componente principal del proyecto, utilizaré un sensor de ultrasonidos HC-SR04. Este sensor contiene un emisor y un receptor de ondas de ultrasonidos, y funciona a modo de sonar (figura 2.7), de tal forma que el emisor lanza un tren de pulsos ultrasónicos – de 40 kHz en este caso – y el receptor espera el “eco” de dicho tren de pulsos en algún objeto.

En el datasheet del sensor podemos ver que la distancia medida es proporcional a la amplitud del eco de la señal enviada, y para calcular dicha distancia, nos remitimos a la fórmula **“Distancia = Velocidad x Tiempo”**.



Figura 2.6 funcionamiento del sensor ultrasonico

### 2.2.4 TECLADO MATRICIAL

El teclado matricial 4x4 (figura 2.8) está constituido por una matriz de pulsadores dispuestos en filas (A, B, C, D) y columnas (1, 2, 3, 4), con la intención de reducir el número de pines necesarios para su conexión. Las 16 teclas necesitan sólo 8 pines del micro controlador, en lugar de los 16 pines que se requerirían para la conexión de 16 teclas independientes.[5]



Figura 2.7 teclado matricial

### 2.2.5 LCD

El LCD (Liquid Crystal Display) o pantalla de cristal líquido figura 2.9 es un dispositivo empleado para la visualización de contenidos o información de una forma gráfica, mediante caracteres, símbolos o pequeños dibujos dependiendo del modelo. Está gobernado por un micro controlador el cual dirige todo su funcionamiento.

En este caso vamos a emplear un LCD de 16x2, esto quiere decir que dispone de 2 filas de 16 caracteres cada una. Los píxeles de cada símbolo o carácter, varían en función de cada modelo.

**Pines de alimentación:**



Figura 2.8 lcd 16x2

**Vss:** Gnd

**Vdd:** +5voltios

**Vee:** corresponde al pin de contraste

**Pines de control:**

**RS:** Corresponde al pin de selección de registro de control de datos (0) o registro de datos (1). Es decir el pin RS funciona paralelamente a los pines del bus de datos. Cuando RS es 0 el dato presente en el bus pertenece a un registro de control/instrucción. Y cuando RS es 1 el dato presente en el bus de datos pertenece a un registro de datos o un carácter.

**RW:** Corresponde al pin de Escritura (0) o de Lectura (1). Nos permite escribir un Dato en la pantalla o leer un dato desde la pantalla.

**E:** Corresponde al pin Enable o de habilitación. Si E (0) esto quiere decir que el LCD no está activado para recibir datos, pero si E (1) se encuentra activo y podemos escribir o leer desde el Lcd.

**Pines de Bus de datos:**

El Bus de datos bidireccional comprende desde los pines D0 a D7. Para realizar la comunicación con el LCD podemos hacerlo utilizando los 8 bits del bus de datos (D0 a D7) o empleando los 4 bits más significativos del bus de datos (D4 a D7). En este caso vamos a explicar la comunicación con el bus de 4 bits.[6]

### 2.2.6 MICRO SD

Las tarjetas MicroSd corresponden a un formato de tarjeta de memoria flash más pequeña que la MiniSd, desarrollada por SanDisk; adoptada por la asociación de tarjetas SD bajo el nombre de microSD en julio del 2005. Mide tan solo 15x11x1 milímetros, lo cual da un area de 165 mm<sup>2</sup>.

Esto es tres veces y media más pequeña que la miniSD, que era hasta la aparición de las microSD el formato más pequeño de tarjetas SD, y es alrededor de un décimo del volumen de una tarjeta SD. Sus tasas de transferencia no son muy altas, sin embargo, empresas como SanDisk han trabajado en ello, llegando a versiones que soportan velocidades de lectura de hasta 10 Mb/s. Actualmente, ya existen tarjetas microSD fabricadas por Panasonic que alcanzan los 90 Mb/s de lectura y los 80 Mb/s de escritura.

Debido a que su coste como poco duplica el de una Secure Digital equivalente, su uso se ciñe a aplicaciones donde el tamaño es crítico, como los teléfonos móviles, sistemas GPS o tarjetas Flash para consolas de mano. [7]



Figura 2.9 microSD

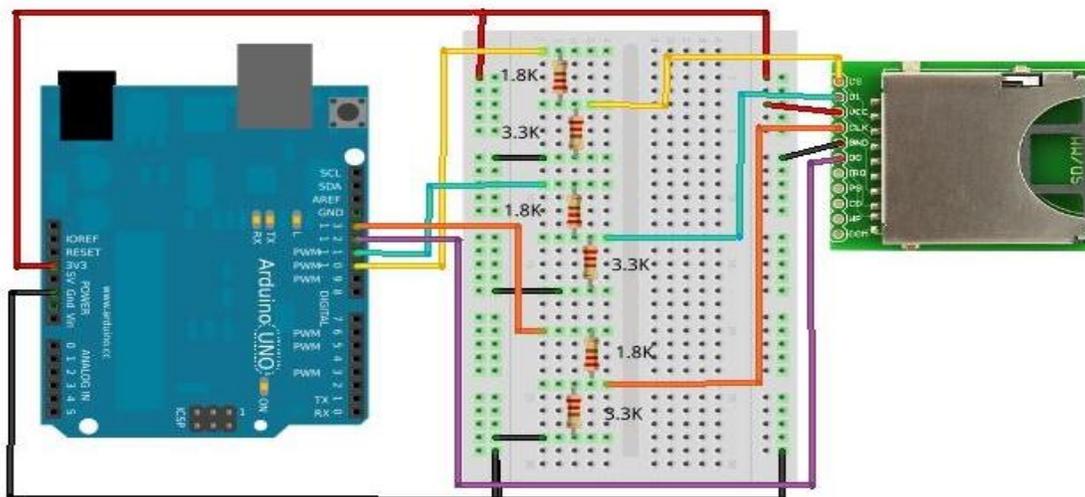


Figura 2.10 Conexión arduino micro sd

**CAPITULO 3 METODOLOGIA Y DESARROLLO**

**3.1 DIAGRAMA A BLOQUES DEL SISTEMA (ETAPAS DE SENSADO, PROCESAMIENTO Y VISUALIZACIÓN)**

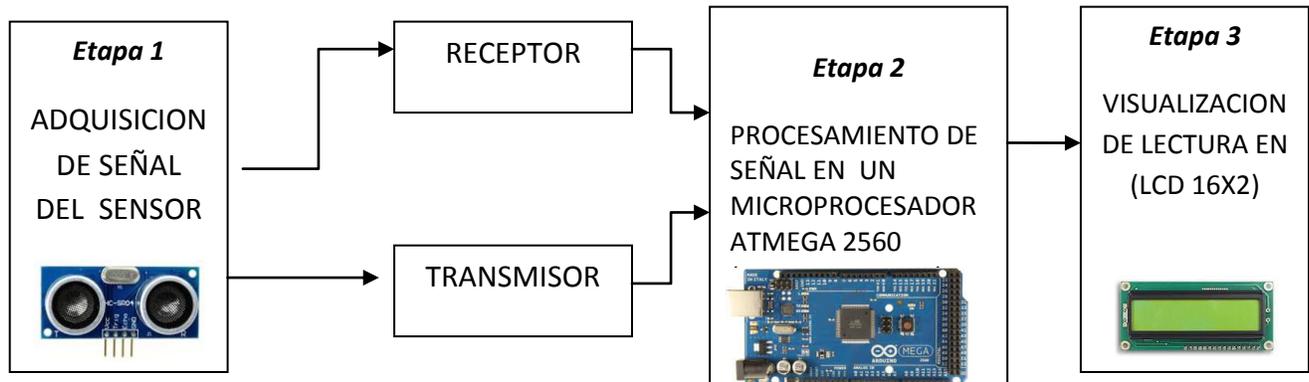


Figura 3.1 diagrama a bloques del funcionamiento del dispositivo

En la figura 3.1 se muestran las bloques del funcionamiento del dispositivo:

1. Etapa de sensado:  
En esta etapa el transmisor del sensor ultrasónico manda constantemente un pulso hacia la superficie del agua, que regresa al receptor.
2. Etapa de procesamiento de señal:  
En esta etapa se calcula y procesa el tiempo de regreso de los pulsos enviados del receptor al transmisor, así como también las variables de caudal y volumen.
3. Etapa de visualización:  
En esta etapa se aprecia los resultados del procesamiento anterior, como la altura, volumen, caudal por medio de una pantalla lcd.

### 3.2 SIMULACION

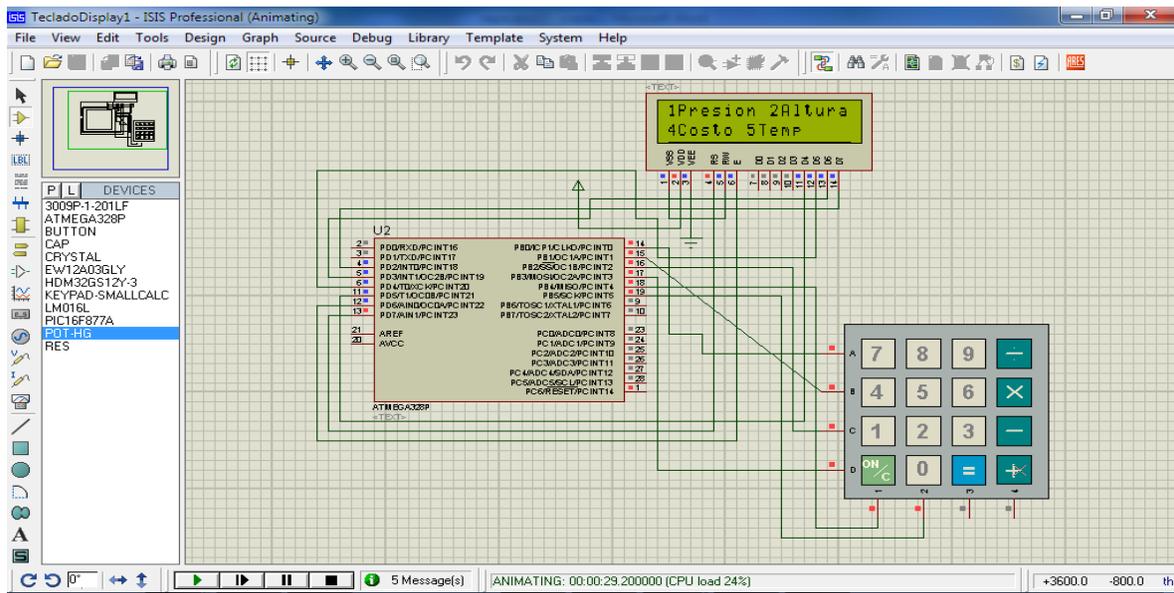


Figura 3.1 Simulación

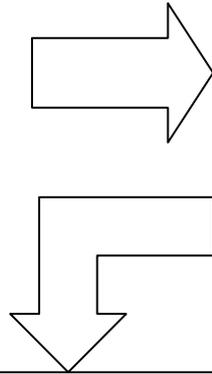
## CAPITULO 4. RESULTADOS

### 4.1 DIAGRAMA A BLOQUES DEL PROGRAMA

```
#include <Keypad.h>

#include <SD.h>

#include <LiquidCrystal.h>
```



```
LiquidCrystal lcd(46, 47, 45, 43, 41, 39);
float
duration,distance,distancia,Base,Pendiente,Rugosidad,c
,x,distancia2,caudal;
int caudal2;
const byte ROWS = 4;
const byte COLS = 4;
char hexaKeys[ROWS][COLS] = {
  {'D','C','B','A'},
  {'#','9','6','3'},
  {'0','8','5','2'},
  {'.','7','4','1'}
};
byte rowPins[ROWS] = {22, 24, 26, 28};
byte colPins[COLS] = {30, 32, 34, 36};
Keypad keypad = Keypad( makeKeymap(hexaKeys),
rowPins, colPins, ROWS, COLS);
int s,y;
boolean Aceptar=false;
const float chipSelect = 53;
```

```
String dataString = "";
digitalWrite(trigger, LOW);
digitalWrite(trigger, HIGH);
delayMicroseconds(10);
digitalWrite(trigger, LOW);
duration = pulseIn(echo, HIGH);
distance = duration/58;
if ((distance >= 400) || (distance <= 2))
distance = 0;
  distancia=(distance);
  distancia2=(distancia*c);
  caudal=pow(distancia2,x);
  caudal2=(caudal*1000);

lcd.setCursor(0,0);lcd.print(distancia); dataString +=String(distancia);
  dataString += ",";
lcd.setCursor(0,1);lcd.print(caudal); dataString +=String(caudal2);
  dataString += ",";
lcd.setCursor(0,1);lcd.print(caudal); dataString +=String(distance);
  File dataFile = SD.open("datalog.txt", FILE_WRITE);
  if (dataFile) {
    dataFile.println(dataString);

    dataFile.close();
Serial.println(dataString);
  }
  else {
    Serial.println("error opening datalog.txt");
```

```
lcd.setCursor(0, 1);lcd.print("D:");

lcd.setCursor(2, 1);lcd.print(distancia);

lcd.setCursor(0,0);lcd.print("Q:");

lcd.setCursor(2,0);lcd.print(caudal2);
```

### 4.2 DATOS ADQUIRIDOS

Densidad del agua	$\rho=1000\text{kg/m}^3$
Gravedad	$g=9.81\text{m/s}^2$
Longitud de la base Del caudal	Base=0.1 m
Pendiente	$n=0.01$
Rugosidad	$s_0 = 0.001$

ESTOS DATOS SON PROPIOS DEL CANAL COMO LA LONGITUD DE LA BASE SU PENDIENTE Y LA RUGOSIDAD QUE SE REFIERE A LA RESISTENCIA QUE PONE EL MATERIAL DE LAS PAREDES HACIA EL FLUJO DEL AGUA QUE SON NECESARIOS PARA EL CALCULO DE LAS DEMAS VARIABLES

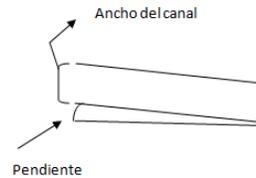


Table 3.1 Constantes en el caudal

altura(cm)	altura2	caudal
1	18.32	3.0169977
2	17.32	2.76158458
3	16.32	2.5145277
4	15.32	2.27604068
5	14.32	2.04635668
6	13.32	1.82573163
7	12.32	1.61444832
8	11.32	1.41282157
9	10.32	1.22120498
10	9.32	1.03999983
11	8.32	0.86966718
12	7.32	0.71074489
13	6.32	0.56387232
14	5.32	0.42982817
15	4.32	0.30959189
16	3.32	0.20445241
17	2.32	0.11622599
18	1.32	0.04779068
19	0.32	0.00512267

Tabla 3.2 Resultados adquiridos a diferentes alturas

Tabla 3.4 resultados recabados en pruebas

h	caudal						
17.78	2.88597535	15.38	2.29504631	14.6	2.11386844	14.59	2.11158128
17.78	2.88597535	15.47	2.31630177	14.59	2.11158128	14.95	2.1944896
17.79	2.88854036	15.02	2.21074645	14.95	2.1944896	13.71	1.91390167
17.88	2.91166305	14.47	2.08420638	13.71	1.91390167	13.71	1.91390167
17.78	2.88597535	14.98	2.20145143	13.71	1.91390167	14.26	2.03661666
17.78	2.88597535	14.47	2.08420638	14.26	2.03661666	14.26	2.03661666
17.78	2.88597535	15.02	2.21074645	14.26	2.03661666	14.29	2.04339047
17.88	2.91166305	14.98	2.20145143	14.29	2.04339047	14.26	2.03661666
17.57	2.83230374	14.47	2.08420638	14.26	2.03661666	14.16	2.014097
16.47	2.5572685	15.47	2.31630177	14.16	2.014097	14.17	2.01634483
16.14	2.47678336	15.47	2.31630177	14.17	2.01634483	14.17	2.01634483
16.05	2.4549972	15.38	2.29504631	14.17	2.01634483	14.26	2.03661666
16.1	2.4670919	14.95	2.1944896	14.26	2.03661666	14.26	2.03661666
16.03	2.45016543	14.98	2.20145143	14.26	2.03661666	14.29	2.04339047
16.17	2.4840611	14.48	2.08648261	14.29	2.04339047	14.29	2.04339047
16.17	2.4840611	15.02	2.21074645	14.29	2.04339047	14.29	2.04339047
16.05	2.4549972	15.34	2.28562254	14.29	2.04339047	14.29	2.04339047
14.69	2.13449371	15.34	2.28562254	14.29	2.04339047	14.29	2.04339047
13.86	1.94709144	15.48	2.31866792	14.29	2.04339047	14.16	2.014097
13.86	1.94709144	15.48	2.31866792	14.16	2.014097	14.17	2.01634483
13.83	1.94043673	15.34	2.28562254	14.17	2.01634483	14.26	2.03661666
13.83	1.94043673	15.05	2.21772715	14.26	2.03661666	14.29	2.04339047
13.86	1.94709144	15.02	2.21074645	14.29	2.04339047	14.26	2.03661666
13.86	1.94709144	14.95	2.1944896	14.26	2.03661666	14.26	2.03661666
13.83	1.94043673	15.02	2.21074645	14.29	2.04339047	14.29	2.04339047
13.83	1.94043673	15.48	2.31866792	14.16	2.014097	14.16	2.014097
14.67	2.12990397	14.95	2.1944896	14.16	2.014097	14.16	2.014097
14.83	2.16672334	15.48	2.31866792	14.16	2.014097	14.16	2.014097
14.79	2.15749679	15.47	2.31630177	14.16	2.014097	14.16	2.014097
14.36	2.05922811	15.38	2.29504631	14.59	2.11158128	14.59	2.11158128
14.38	2.06376139	15.34	2.28562254	14.17	2.01634483	14.17	2.01634483
14.38	2.06376139	15.47	2.31630177	14.16	2.014097	14.16	2.014097
14.38	2.06376139	15.38	2.29504631	14.17	2.01634483	14.17	2.01634483
14.69	2.13449371	15.34	2.28562254	14.26	2.03661666	14.26	2.03661666
14.26	2.03661666	15.38	2.29504631	14.29	2.04339047	14.29	2.04339047
14.22	2.02759777	14.95	2.1944896	14.26	2.03661666	14.26	2.03661666
14.53	2.09787744	15.38	2.29504631	14.26	2.03661666	14.26	2.03661666
14.52	2.09559665	15.38	2.29504631	14.26	2.03661666	14.26	2.03661666
14.69	2.13449371	14.95	2.1944896	14.29	2.04339047	14.29	2.04339047
14.53	2.09787744	14.91	2.18521976	14.26	2.03661666	14.26	2.03661666
14.62	2.11844548	14.98	2.20145143	14.26	2.03661666	14.26	2.03661666
14.98	2.20145143	15.02	2.21074645	14.26	2.03661666	14.26	2.03661666

Tabla 3.5 datos recabados en pruebas

12.34	1.62060955	13.81	1.93600491	9.55	1.08095041	9.53	1.07737582
13.22	1.80695003	13.81	1.93600491	9.19	1.01727636	9.98	1.15884859
13.1	1.78110322	13.67	1.90508648	9.19	1.01727636	9.97	1.15701448
13.22	1.80695003	13.71	1.91390167	9.53	1.07737582	9.55	1.08095041
12.81	1.71920659	13.71	1.91390167	9.55	1.08095041	9.55	1.08095041
12.84	1.72557238	13.71	1.91390167	9.45	1.06312101	9.55	1.08095041
13.34	1.83293327	13.81	1.93600491	9.97	1.15701448	9.98	1.15884859
13.81	1.93600491	13.79	1.93157681	9.97	1.15701448	9.45	1.06312101
13.34	1.83293327	13.81	1.93600491	9.88	1.14055548	9.45	1.06312101
13.31	1.82642469	13.81	1.93600491	9.97	1.15701448	9.88	1.14055548
13.81	1.93600491	13.38	1.84162458	9.98	1.15884859	9.45	1.06312101
13.81	1.93600491	13.28	1.81992462	9.98	1.15884859	9.45	1.06312101
13.81	1.93600491	12.74	1.70438671	9.97	1.15701448	9.45	1.06312101
13.79	1.93157681	12.86	1.72982103	9.97	1.15701448	9.45	1.06312101
13.71	1.91390167	12.86	1.72982103	9.97	1.15701448	9.47	1.06667818
13.71	1.91390167	12.84	1.72557238	9.88	1.14055548	8.4	0.88259551
13.71	1.91390167	11.29	1.40817578	9.53	1.07737582	8.86	0.96016467
13.38	1.84162458	11.86	1.52213878	9.97	1.15701448	8.88	0.96359143
13.71	1.91390167	11.76	1.50191035	9.97	1.15701448	8.88	0.96359143
13.71	1.91390167	11.76	1.50191035	9.97	1.15701448	9.29	1.03482109
13.81	1.93600491	11.86	1.52213878	9.97	1.15701448	8.86	0.96016467
13.71	1.91390167	10.48	1.2519047	9.97	1.15701448	9	0.98424588
13.79	1.93157681	10.5	1.25568161	9.97	1.15701448	8.57	0.91098272
13.79	1.93157681	10.4	1.23683885	9.97	1.15701448	9	0.98424588
13.79	1.93157681	10.48	1.2519047	9.97	1.15701448	7.78	0.78189459
13.36	1.83727703	10.48	1.2519047	9.98	1.15884859	7.97	0.81227781
13.81	1.93600491	10.5	1.25568161	9.88	1.14055548	7.97	0.81227781
13.71	1.91390167	10.4	1.23683885	9.98	1.15884859	7.57	0.74881051
13.67	1.90508648	10.5	1.25568161	9.55	1.08095041	6.62	0.60583738
13.71	1.91390167	10.48	1.2519047	9.55	1.08095041	7.05	0.66917429
13.81	1.93600491	10.5	1.25568161	9.55	1.08095041	7.45	0.73014204
13.79	1.93157681	9.88	1.14055548	9.55	1.08095041	6.57	0.59862345
13.79	1.93157681	9.59	1.08811261	9.55	1.08095041	7.05	0.66917429
13.79	1.93157681	9.97	1.15701448	9.47	1.06667818	6.62	0.60583738
13.79	1.93157681	9.55	1.08095041	9.97	1.15701448	6.64	0.60873183
13.79	1.93157681	9.17	1.01378064	9.55	1.08095041	6.62	0.60583738
13.81	1.93600491	9.55	1.08095041	9.55	1.08095041	6.62	0.60583738
13.67	1.90508648						
13.71	1.91390167						

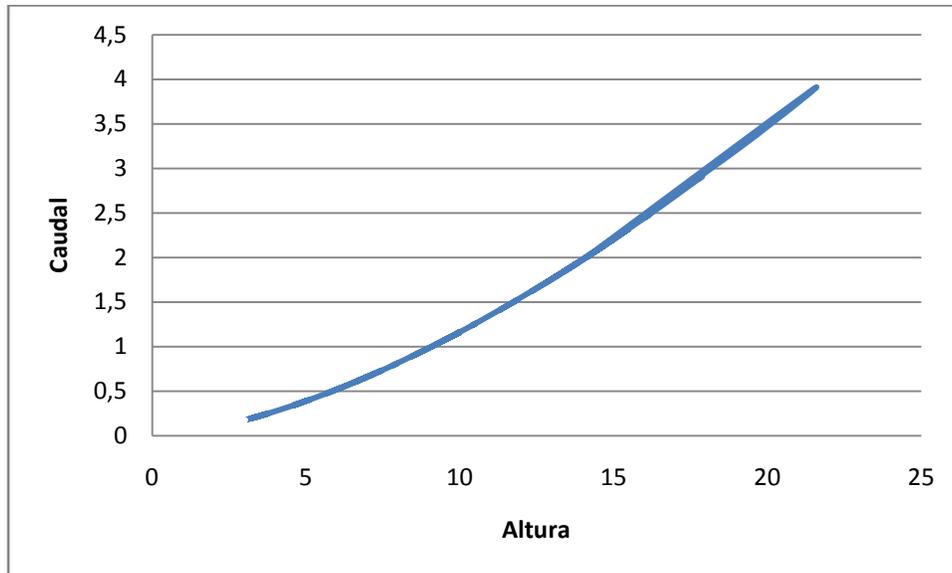


Figura 3.2 grafica de caudal, altura.

Las tablas 3.2, 3.3, 3.4, 3.5, denotan lecturas tomadas en pruebas a la que la figura 3.2 es una grafica de las lecturas tomadas respectivamente.

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Después de analizar el trabajo realizado durante este proceso de titulación se pudo concluir que se diseñó un sistema de adquisición de datos que recopila la información de tres variables la caudal, altura, volumen en una memoria sd

Este diseño digital tiene la capacidad de dar los datos directos al lcd sin que intervengan personas para la medición de altura manualmente así como la simplificación de cálculos de caudal, altura, volumen.

Aunque en el mercado existen algunos dispositivos de adquisición de datos para problemas similares, este proyecto resuelve de manera innovadora y eficiente para la resolución de la problemática.

Este proyecto se encuentra en trámite de para obtener su patente.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] <http://www.monografias.com/trabajos14/canales-abiert/canales-abiert.shtml#ixzz2i6Ub50az>
- [2] Hidráulica de canales autor Gilberto Sotelo Ávila
- [3] <http://www.arduino.cc/en/pmwiki.php?n=Main/arduinoBoardMega>
- [4] <http://granabot.es/robot-recorre-tuberias-circuito-y-funcionamiento-sensor-hc-sr04/>
- [5] <http://danigommun.wix.com/danielgomez#!teclado-y-lcd/c1s4r>
- [6] <http://isa.umh.es/assignaturas/sea/practicas2C/P7/practica7.pdf>
- [7] <http://www.trastejant.es/tutoriales/electronica/tarjetasSD.html>

## ANEXOS

### A.1 Código del programa

```
#define echo 8

#define trigger 9

#include <LiquidCrystal.h>

LiquidCrystal lcd(7, 6, 5, 4, 3, 2);

float duration,distance,d2;

void setup() {

  Serial.begin (9600);

  pinMode(trigger, OUTPUT);

  pinMode(echo, INPUT);

  digitalWrite(trigger, LOW);

  lcd.begin(16, 2);

}

void loop() {

  distancia();

  // gasto();

}

void distancia(void)

{

  float b,e,v,P,q;

  lcd.clear();

  digitalWrite(trigger, LOW);

  digitalWrite(trigger, HIGH);

  delayMicroseconds(10);

  digitalWrite(trigger, LOW);
```

```
duration = pulseIn(echo, HIGH);

distance = duration/58;

if ((distance >= 400) || (distance <= 2))

distance = 0;

//d2=(25 - (distance));

d2=(25-distance);

lcd.setCursor(7, 0);lcd.print("H:");

//lcd.setCursor(1, 0);lcd.print("D:");

lcd.setCursor(9, 0);lcd.print(d2);

q= 1/0.009* pow((0.009*distance)/(0.009+2*distance),2/3)*0.016227766*(0.09*distance);

lcd.setCursor(0, 0);lcd.print("Q:");

// lcd.setCursor(0, 2);lcd.print("Q:");

lcd.setCursor(2, 0);lcd.print(q);

v= (q/(0.1*d2));

lcd.setCursor(0, 2);lcd.print("V:");

lcd.setCursor(2, 2);lcd.print(v);

P=9800*d2;

lcd.setCursor(5, 2);lcd.print("P:");

lcd.setCursor(7, 2);lcd.print(P);

// lcd.setCursor(13, 2);lcd.print("m/s");

Serial.println(d2);

Serial.println(v);

Serial.println(q);
```

```
Serial.println(P);
```

```
delay(1000);
```

```
}
```

### MATLAB

```
function Matlab_Arduino(numero_muestras)
close all;
clc
y=zeros(1,1000);
delete(instrfind({'Port'},{'COM3'}));
puerto_serial=serial('COM3');
puerto_serial.BaudRate=9600;
warning('off','MATLAB:serial:fscanf:unsuccessfulRead');
fopen(puerto_serial);
contador_muestras=1;
figure('name','Serial comunicacion: Matlab+Arduino')
title('serial comunicacion matlab+arduino');
xlabel('numero de muestras');
ylabel('Velocidad-Gasto-Altura');
grid on;
hold on;
while contador_muestras<=numero_muestras
    ylim([0 25]);

    xlim([contador_muestras-20 contador_muestras+5]);
    % xlim([contador_muestras-20 contador_muestras+1]);
    d2=fscanf(puerto_serial,'%d');

    %q= 1/0.009* pow((0.009*d2)/(0.009+2*d2),2/3)*0.016227766*(0.09*d2);
    %v=(q/(0.1*d2));

    % y(contador_muestras) =(d2);
    % q(contador_muestras) =(q);
    % v(contador_muestras) =(v);
    y(contador_muestras) =(d2);

    % plot(contador_muestras,y(contador_muestras),'X-b');
    plot(contador_muestras,y(contador_muestras),'X-b');

    drawnow
    contador_muestras=contador_muestras+1;
end
fclose(puerto_serial);
delete(puerto_srial);
```

```
clear all;
```

```
teclado
```

```
boolean Aceptar=false;
```

```
float Base, Pendiente, Altura, Distancia,b,h;
```

```
#include <LiquidCrystal.h>
```

```
#include <Keypad.h>
```

```
//#include <Recibir.pde>
```

```
//LiquidCrystal lcd(7, 6, 5, 4, 3, 2);
```

```
const byte ROWS = 4;
```

```
const byte COLS = 4;
```

```
char hexaKeys[ROWS][COLS] = {
```

```
  {'D','C','B','A'},
```

```
  {'#','9','6','3'},
```

```
  {'0','8','5','2'},
```

```
  {'.','7','4','1'}
```

```
};
```

```
byte rowPins[ROWS] = {13, 12, 11, 10};
```

```
byte colPins[COLS] = {9, 8, 7, 6};
```

```
Keypad keypad = Keypad( makeKeymap(hexaKeys), rowPins, colPins, ROWS, COLS);
```

```
void setup() {  
  // lcd.begin(16, 2);  
  Serial.begin(9600);  
}  
  
void loop()  
{  
  Distancia = 25;  
  float P, C, V,h,B;  
  
  Serial.print("pendiente: ");  
  h=Recibir();  
  
  Serial.println(h);  
  
  Serial.print("Base: ");  
  B=Recibir();  
  Serial.println(B);  
  
  C=Caudal(Distancia);
```

V=Velocidad(Distancia,C);

P=Presion(Distancia);

Serial.print("Caudal: ");Serial.println(C);

Serial.print("Vel: ");Serial.println(V);

Serial.print("Presion: ");Serial.println(P); }

float Caudal(float Distancia)

{

float Caudal;

Caudal= (1/0.009)\* pow( (0.009\*Distancia)/(0.009+2\*Distancia), 2/3 )\*0.016227766 \*  
(0.09\*Distancia);

return(Caudal);

}

float Velocidad(float Distancia,float \_Caudal)

{

float Vel;

Vel=\_Caudal/(0.1\*Distancia);

return(Vel);

}

float Presion(float Distancia)

{

float Pres;

Pres=Distancia\*9800;

return(Pres);

}

```
float Recibir(void)
{
    char buffer[10], key;

    byte n=0;

    do{
        key=keypad.getKey();
        if(key!=NO_KEY)
        {
            buffer[n]=key;
            if(buffer[n]=='A'){Aceptar=true;buffer[n]=' ';Serial.println("Fin");}
            else{Serial.print(buffer[n]);n++;}
        }
    }while(Aceptar==false);

    Aceptar=false;
    return(atoi(buffer));

}
```

A.2. Partes del caudal:



Figura a.2.1 Tanque volumetrico con toma y recirculacion del caudal al sistema



Figura A.2.2 Bomba de gasolina de tres caballos de fuerza con salida de dos pulgadas



Figura A.2.3 Tanque disipador de energia del agua del sistema



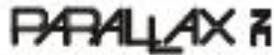
Figura A.2.4 Puentes superiores metalicos para rigidizar el canal





Figura A.3.3 Switch (on-off), sensor de temperatura y puerto de programacion

#### A.4 HOJAS DE DATOS



Web Site: [www.parallax.com](http://www.parallax.com)  
 Forum: [forums.parallax.com](http://forums.parallax.com)  
 Sales: [sales@parallax.com](mailto:sales@parallax.com)  
 Technical: [support@parallax.com](mailto:support@parallax.com)

Office: (910) 628-4223  
 Fax: (910) 628-4222  
 Sales: (800) 512-1024  
 Tech Support: (888) 887-4287

## 4x4 Matrix Membrane Keypad (#27899)

This 16-button keypad provides a useful human interface component for microcontroller projects. Convenient adhesive backing provides a simple way to mount the keypad in a variety of applications.

### Features

- Ultra-thin design
- Adhesive backing
- Excellent price/performance ratio
- Easy interface to any microcontroller
- Example programs provided for the BASIC Stamp 2 and Propeller PB032A microcontrollers

### Key Specifications

- Maximum Rating: 24 VDC, 30 mA
- Interface: 8-pin access to 4x4 matrix
- Operating temperature: 32 to 122 °F (0 to 50°C)
- Dimensions:  
 Keypad: 2.7 x 3.0 in (6.9 x 7.6 cm)  
 Cable: 0.78 x 3.5 in (2.0 x 8.8 cm)

### Application Ideas

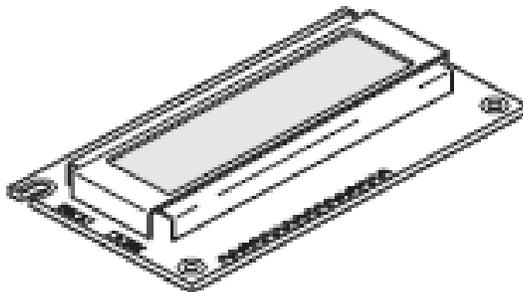
- Security systems
- Menu selection
- Data entry for embedded systems



## ALPHANUMERIC LCD DISPLAY (16 x 2)

### Order Code

LCD008 16 x 2 Alphanumeric Display  
 FRM000 Serial LCD Firmware (optional)



### Contents

1 x 16x2 Alphanumeric Display  
 1 x data booklet

### Introduction

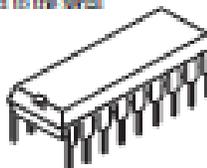
Alphanumeric displays are used in a wide range of applications, including point-of-computer, word processors, photocopiers, point-of-sale terminals, medical instruments, cellular phones, etc. The 16 x 2 intelligent alphanumeric dot matrix display is capable of displaying 204 different characters and symbols. A full list of the characters and symbols is printed on page 7.8 (note these symbols can vary between brand of LCD used). This booklet provides all the technical specifications for connecting the unit, which requires a single power supply (+5V).

### Further Information

Available as an optional extra is the Serial LCD Firmware, which allows serial control of the display. This option provides much easier connection and use of the LCD module. The firmware enables microcontrollers (and microcontroller based systems such as the PICAXE) to visually output user instructions or readings onto an LCD module. All LCD commands are transmitted serially via a single microcontroller pin. The firmware can also be connected to the serial port of a computer.

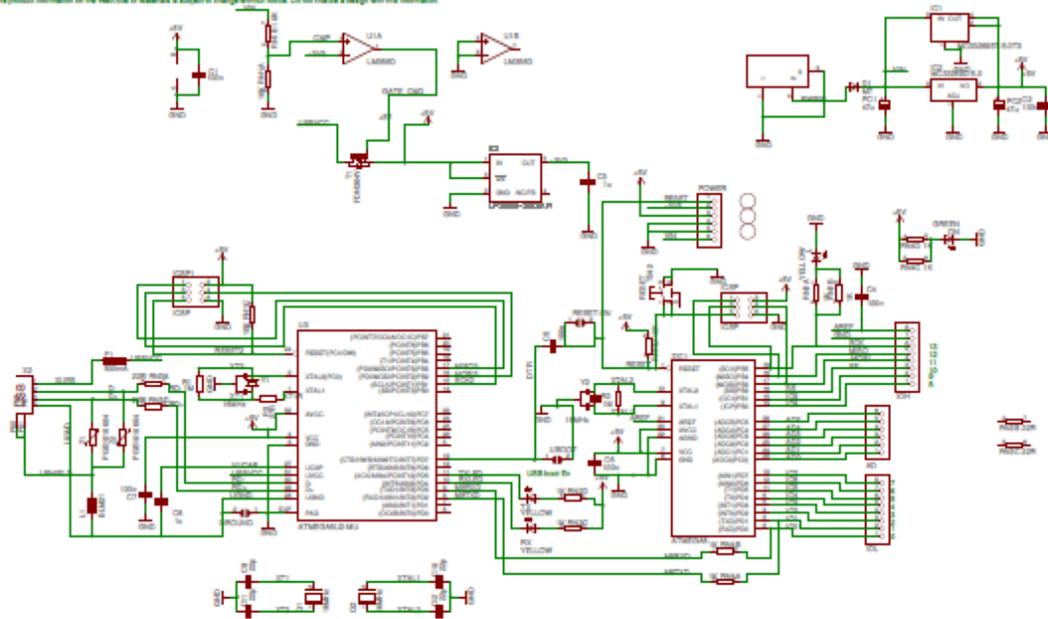
An example PICAXE instruction to print the text 'Hello' using the `asciiout` command is as follows:

```
asciiout: 7, r2400, ("Hello")
```



### Arduino™ UNO Reference Design

Reference Designs ARE PROVIDED "AS IS" AND "WITH ALL FAULTS". Arduino DISCLAIMS ALL OTHER WARRANTIES, EXPRESS OR IMPLIED, INCLUDING MERCHANTABILITY, INCLUDING BUT NOT LIMITED TO, ANY IMPLIED WARRANTIES OF MERCHANTABILITY OR FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE. Arduino may make changes to specifications and product descriptions at any time without notice. The Customer must rely on the absence or characterization of any features or functions marked "Reserved" or "Undocumented". Arduino reserves the right to make modifications and shall have no responsibility whatsoever for conflicts or incompatibilities arising from future changes to them. The product information on the Web Site or Materials is subject to change without notice. Contact Future's Design with this information.



A.4.3

ARDUINO



Tech Support: [services@elecfreaks.com](mailto:services@elecfreaks.com)

## Ultrasonic Ranging Module HC - SR04

### Product features:

Ultrasonic ranging module HC - SR04 provides 2cm - 400cm non-contact measurement function, the ranging accuracy can reach to 3mm. The modules includes ultrasonic transmitters, receiver and control circuit. The basic principle of work:

- (1) Using IO trigger for at least 10us high level signal,
  - (2) The Module automatically sends eight 40 kHz and detect whether there is a pulse signal back.
  - (3) IF the signal back, through high level , time of high output IO duration is the time from sending ultrasonic to returning.
- Test distance = (high level time×velocity of sound (340M/S) / 2,

### Wire connecting direct as following:

- 5V Supply
- Trigger Pulse Input
- Echo Pulse Output
- 0V Ground

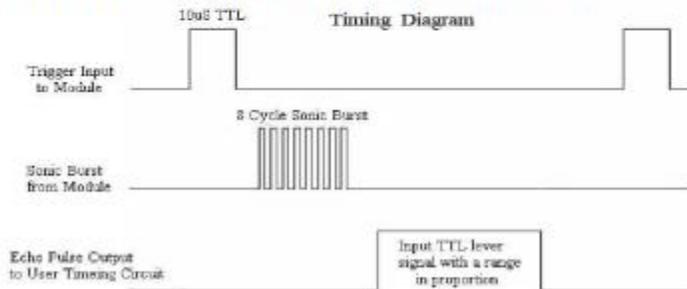
### Electric Parameter

Working Voltage	DC 5 V
Working Current	15mA
Working Frequency	40Hz
Max Range	4m
Min Range	2cm
MeasuringAngle	15 degree
Trigger Input Signal	10uS TTL pulse
Echo Output Signal	Input TTL lever signal and the range in proportion
Dimension	45*20*15mm



### Timing diagram

The Timing diagram is shown below. You only need to supply a short 10uS pulse to the trigger input to start the ranging, and then the module will send out an 8 cycle burst of ultrasound at 40 kHz and raise its echo. The Echo is a distance object that is pulse width and the range in proportion. You can calculate the range through the time interval between sending trigger signal and receiving echo signal. Formula:  $\mu\text{s} / 58 = \text{centimeters}$  or  $\mu\text{s} / 148 = \text{inch}$ ; or: the range = high level time \* velocity (340M/S) / 2; we suggest to use over 60ms measurement cycle, in order to prevent trigger signal to the echo signal.



#### A.4.4

#### HCSR04