



UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLÁS DE HIDALGO

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

“EVALUACIÓN EN LABORATORIO DE UN
MEDIDOR DE FLUJO ULTRASONICO DE EFECTO
DOPPLER, STARFLOW: EN CANALES ABIERTOS”

TESIS

INGENIERO CIVIL

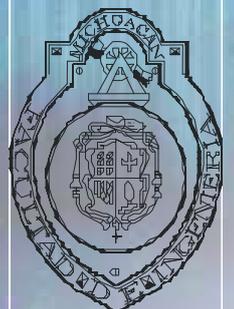
PRESENTA:

RODOLFO QUINTERO MÁRQUEZ

ASESOR:

DRA. SONIA TATIANA SÁNCHEZ QUINTPE

MORELIA, MICHOACÁN, NOVIEMBRE DEL 2006



INDICE

1.-INTRODUCCIÓN.....	1
2.- BASE TEORICA.....	2
2.1.-Principios Físicos Utilizados en el Sistema Doppler Ultrasónico.....	2
2.2.-Velocidad del Sonido en el Agua.....	7
2.3.-Ultrasonido.....	7
2.4.- Principios Físicos Aplicados en Medidores Ultrasónicos	8
2.4.1.-Dispersión Ultrasónica.....	8
3.- ANTECEDENTES.....	9
3.1.- Aforadores de Flujo.....	9
3.1.1.- Aforadores de Presión Diferencial.....	9
3.1.2.- Aforadores Tipo Mecánicos.....	13
3.1.3.- Estructuras Aforadoras.....	13
3.2.- Aforadores Tipo Doppler (Velocímetros Doppler).....	15
3.2.1.- Medidor Acústico Modelo ADFM	17
3.2.2.- Medidor Ultrasónico Modelo Mace Agriflow.....	18
3.2.3.- Medidor de Efecto Doppler de Instalación Lateral para Canales Modelo SonTek Argonaut.....	18
3.3.-Principio del Medidor de Velocidad de Campo Doppler UDVF.....	19
3.3.1.-Principio de Medición.....	19
3.3.2.-Aplicación del UDVF.....	20
4.- MEDIDOR DE FLUJO STARFLOW.....	21
4.1.-Principios de Operación.....	21
4.2.-Condiciones y Recomendaciones de Instalación.....	22
4.3.-Técnica de Descarga al Ordenador.....	23
4.4.- Conocimiento y Manejo del Programa Starflow.....	24
4.4.1.-Instalación.....	24
4.4.2.-Habilidades Básicas.....	25
4.4.3.- Editor de Esquemas.....	27
4.4.3.1.- ¿Cómo Crear un Nuevo Esquema?	28
4.4.4.-Extensiones de Gasto.....	32
4.4.4.1.-Creando un Esquema para Gasto.....	33
4.4.4.2.-Creando una Tabla de Aforo de Área.....	33
4.4.4.3.-Instalando la extensión de Transductor de Flujo.....	37
4.4.5.-Histogramas de Velocidad.....	37
4.4.5.1.- Interpretación Grafica de Errores.....	38
4.4.6.- Procedimiento de Ejecución del Software.....	41
5.-CONDICIONES DE LOS CANALES DE PRUEBA.....	47
5.1.-Ubicación y Sistema de Alimentación de Los Canales.....	47
5.2.-Características Físicas e Hidráulicas de los Canales de Prueba.....	48
5.2.1.- Canal Rectangular de Pendiente Variable (CPV).....	48
5.2.2.- Canal Trapezoidal.....	49
5.3.- Funcionamiento Hidráulico de Canales de Prueba.....	50
5.4.- Instrumentación de los Canales.....	51
5.5.- Verificación de los Vertedores de Pared Delgada.....	52
5.5.1.- Canal Rectangular.....	52
5.5.2.- Canal Trapezoidal.....	53
5.6.- Condiciones Iniciales de las Pruebas.....	55
5.6.1.- Canal Rectangular (CPV).....	55
5.6.2.- Canal Trapezoidal.....	55
5.7.-Mediciones Controladas.....	56
5.8.-Procedimiento de Medición y Captura de Datos.....	56

6.-PLAN DE PRUEBAS.....	57
6.1.- Procedimiento de Selección de Gastos y Pendientes a Reproducir.....	57
6.1.1.-Calibración de la Ecuación de Rehbock y Coeficiente μ para Gasto del Vertedor Rectangular.....	57
6.1.2.- Selección de Gastos y Pendientes.....	60
6.1.3.-Identificación de Tipo de Régimen.....	61
6.1.4.- Conclusiones.....	61
6.2.-Ajuste del Tubo de Prandtl.....	62
6.3.-Pruebas para la Validación del Starflow	63
6.3.1.-Plan de Pruebas.....	63
6.3.1.1.-Pruebas de Tiempo corto.....	64
6.3.1.2.-Pruebas de Tiempo largo.....	65
6.3.2.-Mediciones.....	66
7.-GRAFICAS, ANALISIS Y RESULTADOS.....	71
7.1.- Análisis General de Resultados.....	71
7.1.1-Pruebas Cortas del CPV en Condiciones Recomendadas.....	71
7.1.2.- Pruebas en Canal Trapecial en Condiciones Recomendadas.....	71
7.1.3.- Pruebas de Tiempo Largo en CPV, en Condiciones 0,1,2 y 3.....	72
7.1.4.-Análisis Gráfico de Condiciones de las Condiciones No Optimas de Instalación en CPV.....	73
7.1.5.-Análisis de Gráficas y Tablas de Varianza.....	73
7.2.- Gráficas.....	74
7.2.1- Gráficas Starflow de Tiempo Corto en CPV.....	74
7.2.2- Gráficas Starflow de Tiempo Corto en CT.....	76
7.2.3- Gráficas Starflow de Tiempo Largo en CPV.....	78
7.2.4- Graficas de Tipo Barras de Media Starflow vs. Medios Analíticos.....	88
7.2.4.1.- Gráficas de Tiempo Corto en CPV con Condiciones Recomendadas.....	88
7.2.4.2- Gráficas de Tiempo Largo en CPV en Condiciones 0,1,2 y 3.....	89
7.2.4.3.- Graficas de Tipo Barras de CT.....	95
7.2.5.- Graficas de Varianza.....	96
7.2.5.1.- Varianza de Pruebas Largas Starflow en CPV, en Condiciones 0,1,2 y 3.....	97
7.2.5.2.- Varianza de Pruebas Cortas Starflow en CT.....	99
7.2.6.- Gráficas de Porcentaje de Error.....	100
7.2.6.1.- Porcentaje de Error en Pruebas de Tiempo Corto de CPV en Condiciones Recomendadas.....	100
7.2.6.2.- Porcentaje de Error en Pruebas Largas de CPV en condiciones 0,1,2 y 3.....	101
7.2.6.3.- Porcentaje de Error en Pruebas Cortas de CT.....	103
7.3.- Tablas de Resultados.....	104
8.-CONCLUSIONES	108
8.1.- Conclusiones Obtenidas de los Esquemas Realizados	108
8.2.-Recomendaciones y Comentarios:.....	109
BIBLIOGRAFIA.....	112
9.- ANEXOS.....	i
9.1.- Tablas.....	i
9.2.- Propuesta para Práctica de Laboratorio.....	viii
9.3.- Comunicación con Unidata.....	xii
9.4.- Archivo Fotográfico.....	xiv

1.- INTRODUCCIÓN

Mucho se ha hablado en diferentes investigaciones sobre el tema del agua, que cada día es más recurrente; conceptos como: calidad, cantidad y disponibilidad de este recurso vital son muy citados y comentados, hoy en día cuando se abunda en los diversos aspectos de este extenso y multidisciplinario tema.

Dentro de todos estos conceptos existe uno en particular que esta intrínsecamente relacionado con esta investigación; la cuantificación del recurso, un apartado importante tanto para organismos operadores como para usuarios en general. Esta cuantificación requerirá para cualquier propósito, de medidores eficientes y confiables que respondan a una necesidad vital y creciente que impulsa la investigación, desarrollo e incorporación de los medidores existentes en el mercado en la búsqueda de mayor calidad y control.

La correcta incorporación de medidores requiere pues de investigaciones como la presente, que pretende ilustrar de manera descriptiva, conceptual y practica el uso de aparatos como lo es el medidor Starflow, que conjunta en un solo lugar principios físicos, conceptos de hidrología e informática, dando como resultado un medidor de aparente complejidad pero con bastantes beneficios como los que se presentaran en los capítulos siguientes.

La evaluación de este instrumento se llevo a cabo en el laboratorio de Ingeniería Hidráulica, David Hernández Hueramo, donde se evaluó principalmente las limitaciones y ventajas que tiene el utilizar este tipo de tecnologías; esto con la meta de proporcionar herramientas y datos fehacientes de porcentajes de exactitud o error a los organismos operadores de agua y a usuarios que estén interesados en el uso de este instrumento.

Para lograr esto se conformo un equipo de investigación del Departamento de Hidráulica de la Facultad de Ingeniería Civil, y así planear y llevar a cabo los procedimientos necesarios, para representar de manera apegada a la realidad, las condiciones de los canales abiertos en México y proporcionar una guía minuciosa, descriptiva y explicativa que seguir cuando se utilice un medidor Starflow.

El objetivo final de esta investigación es entonces, proporcionar valores referentes de exactitud a manera de porcentajes de error, para las variables de tirante(profundidad), velocidad y gasto en pruebas de una y cinco horas que puedan ser considerados como coeficientes de corrección para los usuarios del sistema Starflow.

2.- BASE TEORICA

2.1.-Principios Físicos Utilizados en el Sistema Doppler Ultrasónico

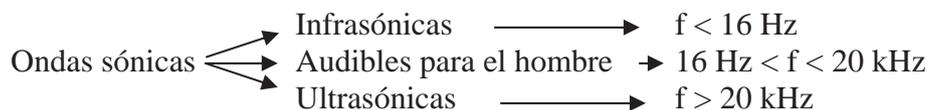
El sistema Starflow es un instrumento de medición que conjunta diferentes conceptos de hidráulica, programación y principios físicos configurados en un solo dispositivo. El conocimiento de estos principios físicos son fundamentales para entender como es que se logra la digitalización de magnitudes físicas. Al entender el accionar del sistema Starflow, se podrán dar las aplicaciones correctas y consideraciones para su instalación y uso.

El principio básico utilizado para la medición de velocidad es el sonido, y en general la propagación de ondas acústicas en el agua. Estos principios utilizados por el Starflow se describen brevemente a continuación.

Sonido:

El sonido es el “fenómeno físico que estimula el sentido del oído”. En los seres humanos, esto ocurre siempre que una vibración con frecuencia comprendida entre unos 15 y 20.000 hercios llega al oído interno. El hercio (Hz) es una unidad de frecuencia que corresponde a un ciclo por segundo. Estas vibraciones llegan al oído interno transmitidas a través del aire, y a veces se restringe el término sonido a la transmisión en este medio. Sin embargo, en la física moderna se extiende el término a vibraciones similares, en medios líquidos o sólidos.

Los sonidos con frecuencias superiores a unos 20.000 Hz se denominan ultrasónicos, cuando se refieren a la capacidad auditiva del hombre.



Donde la frecuencia es: $f = 1/t$ [f] = $1/[t]$ = s^{-1} = Hz

En general, las ondas pueden propagarse de forma transversal o longitudinal. En ambos casos, sólo la energía y la cantidad de movimiento del movimiento ondulatorio se propagan en el medio; ninguna parte del propio medio se mueve físicamente a una gran distancia. Por ejemplo, si se ata firmemente una cuerda a un poste por un extremo, se estira sin tensarla del todo y se sacude el otro extremo. Una onda se desplazará por la cuerda hacia el poste, donde se reflejará y volverá hacia la mano. En realidad, ninguna parte de la cuerda se mueve longitudinalmente hacia el poste, pero todas las partes de la cuerda se mueven transversalmente. Este tipo de movimiento ondulatorio se denomina onda transversal. Del mismo modo, si se tira una piedra a un estanque, una serie de ondas transversales se propaga desde el punto de impacto. Un corcho que flote cerca de dicho punto se moverá hacia arriba y hacia abajo, es decir, de forma transversal a la dirección del movimiento ondulatorio, pero apenas mostrará movimiento longitudinal. En cambio, una onda de sonido es una onda longitudinal por que se propaga a lo largo de todo el medio en el que ocurre.

Frecuencia:

La frecuencia es fundamental en el Starflow, ya que es por medio de esta que los medidores de tipo ultrasónicos miden la velocidad por medio de un emisor que emite una frecuencia, y un transmisor diseñado para captar la señal de retorno

Existen distintos métodos para producir sonido de una frecuencia deseada. Por ejemplo, un sonido de 440 Hz puede crearse alimentando un altavoz con un *oscilador sintonizado a esa frecuencia*. También puede interrumpirse un chorro de aire mediante una rueda dentada con 44 dientes que gire a 10 revoluciones por segundo; este método se emplea en las sirenas. Los sonidos de un altavoz y una sirena de la misma frecuencia tendrán un timbre muy diferente, pero su tono será el mismo, equivalente al la situado sobre el “Do” central en un piano. El siguiente “La” del piano, la nota situada una octava por encima, tiene una frecuencia de 880 Hz. Las notas situadas una y dos octavas por debajo tienen frecuencias de 220 y 110 Hz respectivamente. Por definición, una octava es el intervalo entre dos notas cuyas frecuencias tienen una relación de uno a dos.

En instrumentos ultrasónicos las altas frecuencias son generadas por materiales piezoelectronicos diseñados para vibrar a frecuencias provocadas por excitación eléctrica en sus moléculas, la mayoría de estos materiales son del tipo polímetros.

Cuando la emisión de ondas sigue una misma frecuencia, se puede igualar a un vector que tendrá su origen en el emisor y extendido en el sentido de la propagación. Esto se conoce como un *frente de ondas*.

Amplitud:

Otro concepto utilizado por medidores ultrasónicos es la amplitud; es por medio de estas, que es posible la relacionar la velocidad de las partículas suspendidas en el flujo o burbujas de agua con la velocidad medida por el instrumento. La amplitud de ondas ultrasónicas es muy corta lo que permite a aparatos como el Starflow, detectar las pequeñas perturbaciones ocasionadas al chocar con estos pequeños obstáculos y generar trenes de ondas distintos de la misma amplitud, lo que se conoce como el fenómeno de Huygens que se explica más adelante.

La amplitud en las ondas de sonido es el grado de movimiento de las moléculas de aire en la onda, que corresponde a la intensidad del enrarecimiento y compresión que la acompañan. Esto significa que cuanto mayor es la amplitud de la onda, más intensamente golpean las moléculas el tímpano y más fuerte es el sonido percibido. La amplitud de una onda de sonido puede expresarse en unidades absolutas midiendo la distancia de desplazamiento de las moléculas del aire, o la diferencia de presiones entre la compresión y el enrarecimiento, o la energía transportada. Por ejemplo, la voz normal presenta una potencia de sonido de aproximadamente una cienmilésima de vatio. Sin embargo, todas esas medidas son muy difíciles de realizar, y la intensidad de los sonidos suele expresarse comparándolos con un sonido patrón; en ese caso, la intensidad se expresa en decibelios.

Intensidad:

La distancia a la que se puede propagar un sonido depende de su intensidad, que es el flujo medio de energía por unidad de área perpendicular a la dirección de propagación. En el caso de ondas esféricas que se propagan desde una fuente puntual, la intensidad es inversamente proporcional al cuadrado de la distancia, suponiendo que no se produzca ninguna pérdida de energía debido a la viscosidad, la conducción térmica u otros efectos de absorción. Por ejemplo, en un medio perfectamente homogéneo, un sonido será nueve veces más intenso a una distancia de 100 metros que a una distancia de 300 metros. Esto interesa a usuarios del tipo de tecnologías ultrasónicas ya que la viscosidad del agua, juega un papel importante en el cálculo de la velocidad, porque al variar la viscosidad del fluido, lo mismo sucederá con la señal acústica enviada y registrada por el Starflow.

Refracción , Reflexión e Interferencias:

La propagación de las ondas en un medio como el agua se presentan otra serie de fenómenos que tomar en cuenta como la refracción, reflexión e interferencias presentes a considerar como afectaciones en la propagación de ondas en el agua.

- **Refracción (sonido):**

Para ilustrar este fenómeno, se muestra en la figura 2a. El comportamiento de un tren de ondas al pasar de un medio a otro.

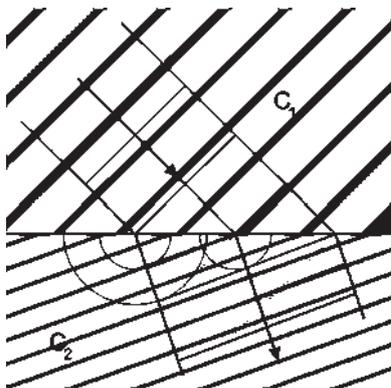


Fig. 2a

$C1$, es el sonido incidente; $C2$, el refractado. Este fenómeno afecta a la propagación del sonido y causa una desviación de las ondas en la dirección de su propagación, cuando el sonido pasa de un medio a otro diferente.

En la refracción, el ángulo de refracción ya no es igual al de incidencia. La refracción se debe a que al cambiar de medio, cambia la velocidad de propagación del sonido. Figura 2a.

La refracción también puede producirse dentro de un mismo medio, cuando las características de este no son homogéneas, por ejemplo, cuando de un punto a otro de un medio aumenta o disminuye la temperatura. Por ejemplo, sobre una superficie nevada, el sonido es capaz de desplazarse atravesando grandes distancias. Esto es posible gracias a las refracciones producidas bajo la nieve, que no es medio uniforme. Cada capa de nieve tiene una temperatura diferente. Las más profundas, donde no llega el sol, están más frías que las superficiales. En estas capas más frías próximas al suelo, el sonido se propaga con menor velocidad

El sonido avanza en línea recta cuando se desplaza en un medio de densidad uniforme. Sin embargo, igual que la luz, el sonido está sometido a la refracción, es decir, la desviación de las ondas de sonido de su trayectoria original. *La excelente recepción del sonido a favor del viento y la mala recepción en contra del viento también se deben a la refracción.* La velocidad del aire suele ser mayor en las alturas que cerca del suelo; una onda de sonido ascendente que avanza a favor del viento se desvía hacia el suelo, mientras que una onda similar que se mueve en contra del viento se desvía hacia arriba, por encima de la persona que escucha.

- **Reflexión (sonido):**

El sonido también se ve afectado por la reflexión, y cumple la ley fundamental de que el ángulo de incidencia es igual al ángulo de reflexión. *Un eco es el resultado de la reflexión del sonido.* El sonar se basa en la reflexión de los sonidos propagados en agua. Una bocina es un tubo cónico que forma un haz de ondas de sonido reflejando algunos de los rayos divergentes en los lados del tubo. Un tubo similar puede recoger ondas de sonido si se dirige el extremo ancho hacia la fuente de sonido.

El sonido también experimenta difracción e interferencia. Si el sonido de una única fuente llega a un oyente por dos trayectorias diferentes (por ejemplo, una directa y otra reflejada), los dos sonidos pueden reforzarse; sin embargo, si están fuera de fase pueden interferir de forma que el sonido resultante sea menos intenso que el sonido directo sin reflexión. Las trayectorias de interferencia son distintas para sonidos de diferentes frecuencias, con lo que la interferencia produce distorsión en sonidos complejos. Dos sonidos de distintas frecuencias pueden combinarse para producir un tercer sonido cuya frecuencia es igual a la suma o diferencia de las dos frecuencias originales.

- **Difracción**

La difracción es un fenómeno que afecta a la propagación del sonido. Hablamos de difracción cuando el sonido en lugar de seguir en la dirección normal, se dispersa. La explicación la encontramos en el *Principio de Huygens* que establece que cualquier punto de un frente de ondas es susceptible de convertirse en un nuevo foco emisor de ondas idénticas a la que lo originó. De acuerdo con este principio, cuando la onda incide sobre una abertura o un obstáculo que impide su propagación, todos los puntos de su plano se convierten en fuentes secundarias de ondas, emitiendo nuevas ondas, denominadas ondas difractadas.

La difracción se puede producir por dos motivos diferentes:

1. Porque una onda sonora encuentra a su paso un pequeño obstáculo y lo rodea. Las bajas frecuencias son más capaces de rodear los obstáculos que las altas. Esto es posible porque las longitudes de onda en el espectro audible están entre 3 cm y 12 m, por lo que son lo suficientemente grandes para superar la mayor parte de los obstáculos que encuentran.
2. Porque una onda sonora topa con un pequeño agujero y lo atraviesa.

La cantidad de difracción estará en función del tamaño de la propia abertura y de la longitud de onda.

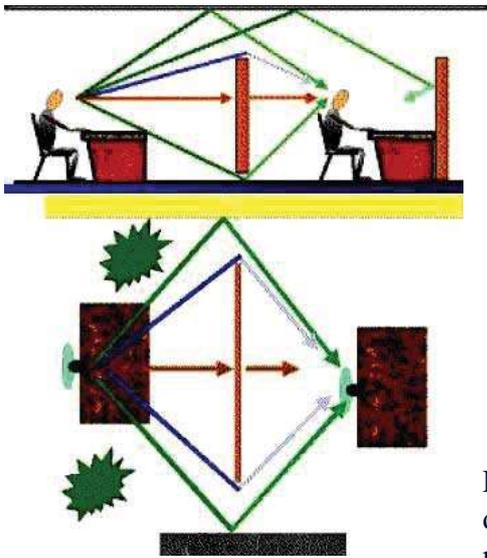


Fig. 2.b

- Si una abertura es grande en comparación con la longitud de onda, el efecto de la difracción es pequeño. La onda se propaga en líneas rectas o rayos, como la luz.
- Cuando el tamaño de la abertura es considerable en comparación con la longitud de onda, los efectos de la difracción son grandes y el sonido se comporta como si fuese una luz que procede de una fuente puntual localizada en la abertura.

En la Figura 2b, la línea azul representa la difracción; la verde, la reflexión y la marrón, refracción.

• Interferencias

El fenómeno de interferencia del sonido se puede entender de mejor manera si se explican principios físicos como el de Huygens.

Principio de Huygens:

El principio de Huygens es un método de análisis aplicado a los problemas de propagación de ondas. Reconoce que cada punto de un frente de onda que avanza es de hecho el centro de una nueva perturbación y la fuente de un nuevo tren de ondas; y que la onda que avanza como un todo se puede mirar como la suma de todas las ondas secundarias que surgen de puntos en el medio ya atravesado.

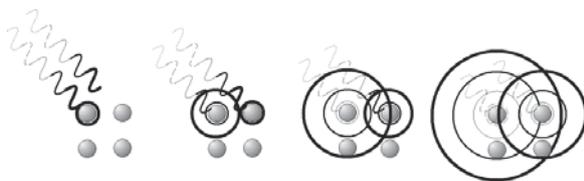


Fig. 2c

Las ondas resultantes se convierten en un frente de ondas que avanza en la misma dirección que el que la generó y cada nuevo frente de onda es susceptible a su vez de ser núcleo de un nuevo frente de ondas. Figura 2c.

Esta visión de la propagación de las ondas ayuda a entender mejor una variedad de *fenómenos de onda, tales como la difracción*. Por ejemplo, si dos sitios están conectados por una puerta abierta y se produce un sonido en una esquina lejana de uno de ellos, una persona en el otro cuarto oír el sonido como si se originara en el umbral. Por lo que se refiere al segundo cuarto, el aire que vibra en el umbral es la fuente del sonido. Lo mismo ocurre para la luz al pasar el borde de un obstáculo, pero esto no es fácilmente observable debido a la corta longitud de onda de la luz visible. La interferencia de la luz de áreas con distancias variables del frente de onda móvil explica los máximos y los mínimos observables como franjas de difracción.

2.2.-Velocidad del Sonido en el Agua:

La velocidad de propagación del sonido en aire seco a una temperatura de 0 °C es de 331,6 m/s. Al aumentar la temperatura aumenta la velocidad del sonido; por ejemplo, a 20 °C, la velocidad es de 344 m/s.

Generalmente, el sonido se mueve a mayor velocidad en líquidos y sólidos que en gases. Tanto en los líquidos como en los sólidos, la densidad tiene el mismo efecto que en los gases; *la velocidad del sonido varía de forma inversamente proporcional a la raíz cuadrada de la densidad*. La velocidad también varía de forma proporcional a la raíz cuadrada de la elasticidad. Por ejemplo, *la velocidad del sonido en agua es de unos 1,500 m/s a temperaturas ordinarias*, pero aumenta mucho cuando sube la temperatura. La velocidad del sonido en el cobre es de unos 3,500 m/s a temperaturas normales y decrece a medida que aumenta la temperatura (debido a la disminución de la elasticidad). En el acero, más elástico, el sonido se desplaza a unos 5,000 m/s; su propagación es muy eficiente.

2.3.-Ultrasonido:

Rama de la física que se ocupa de las ondas de sonido de alta frecuencia, generalmente por encima de 20.000 hercios (Hz), es decir, más allá de las frecuencias audibles. No hay que confundirla con la supersónica, que trata de los fenómenos asociados al movimiento de un objeto sólido a velocidades superiores a la del sonido. Los generadores ultrasónicos modernos pueden producir frecuencias de varios giga hercios (1 giga hercio, abreviado GHz, equivale a 1.000 millones de hercios) convirtiendo corrientes eléctricas alternas en oscilaciones mecánicas. *La detección y medida de ondas ultrasónicas se lleva a cabo fundamentalmente mediante receptores piezoeléctricos o por medios ópticos, ya que estas ondas pueden hacerse visibles a través de la difracción de la luz.*

La ultrasónica tiene muchas aplicaciones en diferentes campos de la física, la química, la tecnología y la medicina. Las ondas ultrasónicas se emplean desde hace tiempo en dispositivos de detección y comunicación llamados *sonares*, de gran importancia en la navegación actual y en la guerra submarina. Entre las aplicaciones de la ultrasónica están la determinación de *propiedades de la materia* como la compresibilidad o la elasticidad. Los ultrasonidos también se emplean para producir *emulsiones*, como la leche homogeneizada o las de las películas fotográficas, y para detectar fallos en materiales industriales. Los ultrasonidos con frecuencias de giga hercios pueden utilizarse en *microscopios acústicos* que pueden visualizar detalles de sólo 1 micrómetro (una millonésima de metro). Las ondas acústicas de superficie con frecuencias ultrasónicas son un componente importante de los dispositivos electrónicos de control.

En medicina, los ultrasonidos se emplean como herramienta de diagnóstico, para destruir tejido enfermo y para reparar tejidos dañados. Las ondas ultrasónicas se han empleado para tratar afecciones como bursitis, diferentes tipos de artritis reumática, gota o lesiones musculares, y también para destruir cálculos renales. Como herramienta de diagnóstico, los ultrasonidos son frecuentemente más reveladores que los rayos X, que no son tan útiles para detectar las sutiles diferencias de densidad que aparecen en

ciertas formas de cáncer; también se emplean con mucha frecuencia para producir imágenes del feto durante el embarazo. Cuando las ondas ultrasónicas atraviesan un tejido, se ven más o menos reflejadas según la densidad y elasticidad del tejido. Con un bisturí ultrasónico, un cirujano puede realizar una incisión más fina que con un escalpelo convencional. Este tipo de técnicas se ha empleado para operaciones delicadas en el cerebro y el oído. En fisioterapia se han utilizado con éxito dispositivos diatérmicos en los que se emplean ondas ultrasónicas para producir calor interno como resultado de la resistencia de los tejidos a las ondas.

2.4.- Principios Físicos Aplicados en Medidores Ultrasónicos

2.4.1.-Dispersión Ultrasónica:

Las ondas ultrasónicas generadas por el transductor son más o menos confinadas en un cono estrecho. A medida que viajan en este cono pueden ser reflejadas o esparcidas cuando tocan una partícula de diferente impedancia acústica. La impedancia acústica es definida por:

$$Z = \rho \cdot c$$

Donde ρ es la densidad y c es la velocidad del sonido.

Si el tamaño de la partícula es mayor que la longitud de la onda, las ondas ultrasónicas son *reflejadas y refractadas* por la partícula. En ese caso la dirección de propagación de las ondas y la intensidad de las ondas ultrasónicas será afectada. Pero si el tamaño de las partículas es mucho más pequeño que la longitud de onda otro fenómeno se hace presente, que es nombrado esparcimiento. En dicho caso, una pequeña parte de la energía ultrasónica es reflejada en todas direcciones. La intensidad y la dirección de propagación de las ondas que se reciben prácticamente no son afectadas por el fenómeno de esparcimiento. *Es por eso que los medidores Ultrasónicos Doppler necesitan medir partículas menores que la longitud de onda.*

3.- ANTECEDENTES

Los medidores de efecto doppler preceden a diversos tipos de medidores y técnicas de medición, de una amplia gama de tecnologías utilizadas para necesidades específicas. Todas estas tecnologías vigentes hoy en día representan el antecedente de los medidores de tipo ultrasónico de aparición relativamente reciente en el mercado. El desarrollo de los antecedentes en este apartado es una manera de comparar todos ellos con el sistema Starflow.

3.1.- Aforadores de Flujo

Los medidores de flujo o caudal se les conocen como caudalímetros y son instrumentos que miden un flujo instantáneo. Estos instrumentos pueden medir flujos cerrados en tuberías o en flujos abiertos de canales.

El gasto o caudal es una variable que se mide con frecuencia en todo el ramo de la industria. Agua, gas natural, vapor, petróleo, sustancias químicas, aguas residuales y corrientes de proceso son solo algunos de los fluidos que se miden rutinariamente. No existe una tecnología única que satisfaga todas las necesidades existentes por lo que se dispone de varios diseños basados en múltiples principios de funcionamiento. Cada tecnología presenta sus beneficios y ventajas particulares.

En todo el universo de aforadores o contadores se puede establecer una diferencia básica que los divide en dos tipos:

- Los que extraen energía del fluido
- Los que añaden algo al fluido para deducir la velocidad del caudal a partir de la propiedad añadida.

Una extracción de energía conlleva una caída de presión. La mayoría de los medidores pertenecen a esta categoría. Al añadir energía, la caída de presión, si se produce es mínima. Los métodos de extracción de energía consisten en colocar en la corriente un estrangulamiento, un cuerpo sólido o un rotor. Estos convierten la energía potencial del fluido en energía cinética que se emplea para deducir la velocidad del flujo.

En los métodos que añaden energía, esta puede introducirse en forma de flujo de ondas sonoras (aforador ultrasónico). El fluido reacciona ante ese incremento de energía, y ese cambio permite deducir el gasto.

3.1.1.- Aforadores de Presión Diferencial:

Nacido en Groningen, Holanda, hace más de 200 años, el científico Daniel Bernoulli (1700-1782) estableció la base teórica para este método al desarrollar algunos principios de la circulación de los fluidos.

Los medidores de presión diferencial comúnmente llamados “contadores PD”, utilizan la diferencia de presión provocada por elementos primarios como placas orificio, toberas, tubos Venturi, tubos Pitot, etc. Esta presión diferencial se deriva hacia

un paso reducido donde la presión se mide y a partir de ella se puede determinar la velocidad del flujo para un fluido de densidad constante.

Los dos diseños principales más comunes en las aplicaciones industriales actuales son de dos tipos:

- Paso reducido (Placas orificio, toberas, tubos Venturi)
- Tubos Pitot

Principio de Medición-Por Paso Reducido

Los dispositivos de este tipo conllevan la instalación de algún elemento que reduzca el paso del fluido en el tramo de tubería.

- Placa de orificios
- Toberas
- Tubos/toberas Venturi

Estos se adaptan con facilidad a las diversas condiciones de proceso.

El campo de medida de gasto operativo de presión diferencial permite medir valores de cero en adelante. La incertidumbre tiende a ser superior en el extremo inferior del campo de medida.

1. Placas Orificio

Las placas orificio son eficientes y se usan en particular para medir gas y vapor, pero también se pueden utilizar con líquidos. Otros diseños han evolucionado para cubrir necesidades específicas. Entre estos podemos mencionar dispositivos de geometrías de cuarto de círculo segmental, en placa excéntrica y otras geometrías especiales. Algunos de estos diseños son menos sensibles a la viscosidad, otros permiten rangos más amplios y algunos están pensados para fluidos con partículas o “procesos sucios”.

La presión se detecta en tubos o ranuras anulares aguas arriba y aguas abajo del diafragma. Esta variedad de diseños se corresponde con la diversidad de opciones de instalación, materiales y áreas de aplicación.

- **Modelo de toma rasante en una pieza:** La presión se detecta con tomas colocadas inmediatamente antes y después del disco diafragma. Este modelo está diseñado para ser instalado entre dos bridas.
- **Modelo de toma rasante en dos piezas:** La presión se detecta en ranuras anulares aguas arriba y aguas abajo del disco diafragma. Esta configuración asegura un promedio más preciso de la presión diferencial por toda la sección transversal de la tubería.
- **Modelo con tomas en brida:** La ventaja de este diseño es que los tramos rectos de entrada y salida están integrados en una única unidad mecánica y todos los componentes ya vienen ensamblados en una configuración de precisión.
- **Modelo con toma en brida:** Este modelo utiliza las bridas de las tuberías adyacentes aguas arriba y aguas abajo del diafragma, esto facilita el reemplazo

de la placa orificio lo cual posibilita insertar placas orificio de distintos diámetros.

2. Tubos/toberas Venturi

Se emplean principalmente para medir gastos de líquidos. Estos elementos primarios originan pérdidas de carga mucho menores que las placas de orificio o toberas, por lo que requieren de menor presión de bombeo. Sin embargo, su incertidumbre es ligeramente superior que con las placas orificio por las presiones diferenciales inferiores que suelen involucrar. Disponen de un difusor de salida divergente que constantemente reduce la velocidad del fluido mientras la presión aumenta.

Las toberas son un buen compromiso entre los tubos Venturi y las placas orificio porque combinan un diseño compacto con unas pérdidas de presión razonablemente bajas. Por su sección de entrada redondeada con radio las toberas pueden tolerar velocidades de circulación del fluido muy altas y también resultan una buena elección para fluidos abrasivos. La presión diferencial es inferior que en las placas orificio, y en consecuencia, las pérdidas de presión también pero la incertidumbre en la medición es ligeramente superior.

La presión se detecta en tubos o ranuras anulares, de modo muy parecido al caso de las placas orificio.

3. Tubos Pitot

Se basan en diferencias de presión. El tubo de Pitot se instala en tuberías transversalmente a la dirección de circulación del fluido o en conductos de sección rectangular. El elemento medidor, un detector en forma de varilla tiene uno o varias hendiduras en la parte anterior y en la posterior conectadas a un transmisor de presiones diferenciales por dos canales independientes. Las hendiduras en la parte anterior registran la carga total de presión (= Presión dinámica + Presión estática). Las hendiduras en la parte posterior solo detectan la presión estática. En consecuencia, la presión diferencial entre la parte anterior y la parte posterior corresponde a la dinámica en la tubería, de donde se puede calcular el caudal directamente.

El detector atraviesa todo el diámetro de la tubería y las hendiduras están distribuidas de tal modo que registren un promedio representativo de la velocidad del fluido. Los tubos Pitot originan una pequeña presión diferencial que los transmisores de presión diferencial modernos son capaces de detectar con un alto grado de exactitud. En consecuencia, el empleo de tubos Pitot va siendo cada vez más habitual.

Las pérdidas de carga en los tubos Pitot son significativamente inferiores que en los métodos por estrechamiento, en particular, en tuberías de diámetro muy grande. Los efectos debidos al perfil de velocidades y las turbulencias pueden ser más significativos para diámetros mayores de 40".

4. Prandtl

Ludwig Prandtl (1875-1953) convino el tubo de Pitot con una toma de presión estática. Los sensores que se basan en estos principios tienen hasta cuatro de estos tubos Prandtl dispuestos por toda la sección transversal de la tubería (modelo de puerto múltiple). Los tubos Pitot y Prandtl son de uso generalizado en laboratorios y son además una elección habitual en mediciones temporales de velocidades puntuales de fluidos en sistemas de tuberías para averiguar velocidades de fluidos relativos.

5. Aforadores de Sección Variable

Un instrumento relativamente simple y eficaz para la medición de caudales en fluidos. El dispositivo consiste en un tubo vertical graduado hacia arriba en cuyo interior hay un flotador de vidrio o metal en suspensión en el fluido, que entra desde abajo. La fuerza que ejerce el fluido sobre el flotador depende de la densidad la viscosidad y la velocidad del fluido.

Cuanto mayor es la velocidad del caudal y, por lo tanto, la fuerza que desarrolla, más alto flotará el flotador en el interior del tubo graduado. El espacio que queda entre el flotador y la pared del tubo se ensancha a medida que el flotador se mueve hacia arriba, hasta que las fuerzas que actúan sobre el flotador se equilibran y el flotador permanece suspendido a una altura constante.

6. Aforadores Volumétricos

Los aforadores volumétricos o de desplazamiento positivo son el único tipo de aforadores que indica el gasto volumétrico en modelos de todos los tipos y medidas. En tanto que familia, son en conjunto los mejores dispositivos de medición de gasto volumétrico. Sin embargo, solo se pueden emplear con fluidos limpios y presentan limitaciones de tamaño y velocidad de caudal en comparación con otros tipos de aforadores. Son conocidos en todo el mundo simplemente como “contadores PD” (Positive Displacement Flowmeters).

Disponen de cámaras desplazables que dividen el fluido en volúmenes fijos conocidos con precisión a medida que este pasa por el caudalímetro. El recuento de los volúmenes individuales de fluido da el valor total del caudal. Las cámaras de medición internas se mueven por la propia presión de la tubería. El número de giros es un indicador del volumen que ha pasado por el caudalímetro. Son únicamente dispositivos de medición de volumen de caudal y solo pueden registrar el caudal en un único sentido.

7. Aforadores Vortex

Se basa en el hecho de que corriente debajo de un obstáculo se forman vórtices en el fluido, tanto en una tubería cerrada como en un canal abierto. Es posible observar este fenómeno, por ejemplo en los vórtices que se forman corriente abajo del pilar de un puente. La frecuencia de desprendimiento de los vórtices a cada lado del pilar (cuerpo sólido) es proporcional a la velocidad media de circulación del fluido y por lo tanto, al caudal volumétrico. Ya en 1513, Leonardo da Vinci describió la formación y el desprendimiento de vórtices estacionarios detrás de un obstáculo en una corriente de fluido.

En 1878, Strouhal estudiaba una descripción científica de los vórtices que se formaban detrás de los obstáculos sólidos. Sus estudios revelaron que un cable tensado a través en un chorro de aire oscilará. Encontró que la frecuencia de esta oscilación es proporcional a la velocidad del chorro de aire.

El número de Strouhal empleado en este contexto describe la relación entre la frecuencia del desprendimiento de vórtices, la velocidad del fluido y el diámetro del cuerpo sólido.

Los obstáculos sólidos de los caudalímetros Vortex varían según el fabricante. Los hay de forma rectangular, triangular, esférica, en delta o en formas más específicas correspondientes a los diversos modelos patentados. En cada modelo el número de Strouhal se debe mantener constante para todo el campo de valores de medida; en otras palabras, para todo este campo de valores de medida, la frecuencia de desprendimiento de vórtices ha de ser independiente de la presión, temperatura y densidad. En este campo de valores de medida con número de Strouhal constante ($Re > 20000$ trabajan los caudalímetros vortex).

3.1.2.- Aforadores Tipo Mecánicos

Molinete

Consiste en una hélice de 6 a 12 cm. de diámetro que arrastra por intermedio de un tornillo sinfín una rueda dentada provista de un contacto eléctrico, el cual cierre el circuito de un timbre o de un registrador de banda de papel. La velocidad del fluido es directamente proporcional al número de revoluciones de la hélice, e inversamente proporcional al tiempo entre los timbrazos.

3.1.3.- Estructuras Aforadoras

Son las estructuras que sirven para medir gastos de agua que demanda el usuario, para realizar el cobro al usuario de acuerdo al volumen requerido.

De acuerdo a su funcionamiento, las estructuras aforadoras pueden dividirse en tres grupos a saber:

- Estructuras que funcionan a régimen crítico
- Estructuras que funcionan por medio de un resalto
- Estructuras que funcionan como orificio

1. Estructuras que Funcionan a Régimen Crítico

Dentro de este grupo de estructuras podemos mencionar toda la gama de vertedores, tanto de cresta ancha como de de cresta delgada. Consisten en una escotadura a través de la cual se hace circular el agua.

Estructura Aforadora Tipo Guamúchil

Consiste en un vertedor de cresta delgada construido en la sección transversal a la corriente, y a través de la cual se hace circular el agua para su aforo. El gasto que pasa esta en función de la longitud de cresta del vertedor y de la carga “H” sobre la cresta medida en una escala colocada a una distancia tal que el abatimiento del nivel del agua no influya en la lectura.

Para el correcto funcionamiento del medidor deben cumplirse los siguientes requisitos:

- La carga sobre el vertedor debe ser suficiente para el gasto requerido
- Debe procurarse que la velocidad de llegada del agua sea mínima para que no se formen demasiadas turbulencias
- La regadera de aguas abajo debe diseñarse de manera que el chorro no se ahogue
- El chorro debe tener suficiente ventilación

Estructura Aforadora Tipo Celaya

Es una estructura de cresta ancha, la cual requiere para su correcto funcionamiento que el canal de conducción lleve el gasto normal, o sea que esté siempre lleno. Este tipo de estructura puede considerarse dentro del grupo de las aforadoras combinadas, ya que puede trabajar a cresta libre como vertedor, o bien como orificio, mediante la colocación de una compuerta deslizante sobre el vertedor.

2. Estructuras Aforadoras por Medio de un Resalto

Se forman por medio de una reducción de la sección transversal de la corriente, aumentando la velocidad de la misma y presentándose el régimen crítico, al salir el agua de la sección reducida, la velocidad disminuye produciéndose un resalto hidráulico.

Medidor Parshall

Es una estructura de aforo diseñada por el ingeniero R.L. Parshall quien ideó algunas modificaciones para el medidor Venturi para no tener azolves y cuya precisión de aforo es tan buena como la de un vertedor.

El medidor consta de tres partes que son: la entrada formada por dos paredes verticales simétricas y convergentes y de una planilla horizontal, la garganta que está formada por dos paredes verticales y paralelas con planilla de pendiente descendiente hacia aguas abajo, por último la salida que esta formada por dos paredes divergentes y la planilla ligeramente inclinada hacia arriba. La arista formada por la unión de las plantillas de la entrada y de la garganta se llama “Cresta del Medidor” y a su longitud, o sea, la distancia entre las paredes de la garganta se le llama “Tamaño del Medidor”

La estructura tiene dos pozos amortiguadores para medir las cargas “Ha” y “Hb”, antes y después de la cresta, colocados en los lados de la estructura y comunicados a ella por tubería que se conecta a puntos bien definidos de la entrada y la

garganta. Si el medidor trabaja a descarga libre basta medir únicamente la carga “Ha” para calcular el gasto.

3. Estructuras Aforadoras que Funcionan como Orificio

En este tipo de estructuras el agua fluye a través de una sección de control operada por medio de una compuerta que permite regular la carga “Hb” con que trabaja el orificio.

Estructura Aforadora de Carga Constante

Consiste en una caja construida a la entrada de la bocatoma en la cual se colocan dos compuertas, una controla el paso del agua del canal a la caja y se denomina “Compuerta Anterior”, la otra llamada “Compuerta Posterior”, controla el paso del agua de la caja a la tubería o conducto que la conduce al canal.

Este tipo de estructura permite medir gastos hasta de 2 000 l/s. Con objeto de medir los niveles del agua dentro y fuera de la caja, se colocan dos escalas una aguas arriba de la compuerta anterior y otra aguas debajo de la misma, dentro de la caja.

3.2.- Aforadores Tipo Doppler (Velocímetros Doppler)

Trasfondo del Velocímetro Ultrasónico Doppler:

La técnica doppler ultrasónica, fue originalmente aplicada al campo de la medicina desde hace más de 30 años. El uso de pulsos emitidos ha extendido su técnica a otros campos y ha abierto la vía a nuevas técnicas de medición en la dinámica de fluidos. El termino “*Velocímetro Doppler Ultrasónico*” implica que la velocidad es medida mediante encontrar la frecuencia Doppler en la señal recibida, como es el caso de los Velocímetro Doppler de Láser incluso. De hecho en el medidor de velocidad Doppler de pulso este nunca es el caso. La velocidad es derivada de cambios de posición entre pulsos, y el efecto doppler juega un papel menor. Desafortunadamente muchas publicaciones, incluso recientes, cometen el error de no hacer tal distinción, resultando en erróneas descripciones de sistemas y falsas interpretaciones de la influencia de varios efectos físicos.

Principios del Funcionamiento del pulso Ultrasónico Doppler:

En el pulso Ultrasónico Doppler, en lugar de emitir ondas ultrasónicas continuas, lo que realiza es, un tren de ondas ultrasónico, entonces, un colector recibe ecos continuamente de objetivos que cruzan al camino del rayo ultrasónico. Muestreando los ecos que llegan al mismo tiempo relativo de la emisión de los disparos, los cambios de posición que se dispersan son medidos. Asumamos una situación, como se ilustra en la figura 3.a, donde solo una partícula se presenta a lo largo del rayo ultrasónico.

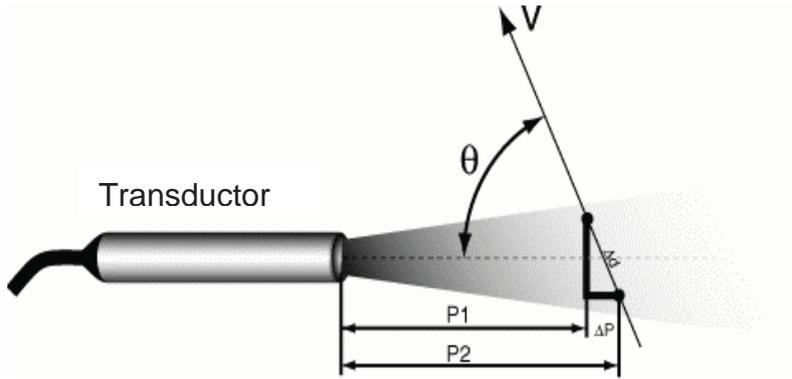


Fig. 3a

A partir del conocimiento del tiempo de retraso T_d entre un disparo emitido y el eco de la partícula, la profundidad p de esta partícula puede ser calculada por:

$$p = \frac{c \cdot T_d}{2}$$

Donde c es la velocidad del sonido de la onda ultrasónica en el líquido. Si la partícula se está moviendo en un ángulo θ respecto a la abscisa del rayo ultrasónico, esta velocidad puede ser medida calculando la variación de su profundidad entre la separación de tiempo de las dos emisiones conociendo T_{prf} :

$$(P_2 - P_1) = V \cdot T_{prf} \cdot \cos\theta = \frac{c}{2} \cdot (T_2 - T_1)$$

La diferencia de tiempo ($T_2 - T_1$) es siempre muy corta, la mayoría de las veces menor a un microsegundo. Es ventajoso remplazar este tiempo de medición con la medición de la fase del disparo del eco recibido.

$$\delta = 2\pi \cdot f_e (T_2 - T_1)$$

Donde f_e es la frecuencia emitida. Con esta información la velocidad del objetivo es expresada por:

$$v = \frac{c \cdot \delta}{4\pi \cdot f_e \cdot \cos\theta \cdot T_{prf}} = \frac{c \cdot f_d}{2 \cdot f_e \cdot \cos\theta}$$

Esta última ecuación da el mismo resultado de la ecuación Doppler. Sin embargo se debe saber que el fenómeno involucrado no es el mismo, asumiendo que las partículas están caóticamente distribuidas dentro del rayo ultrasónico. Los ecos de cada partícula son de esa manera combinados en una moda aleatoria dando por resultado una señal de eco aleatoria. Esperando un alto grado de correlación entre las diferentes emisiones. Este alto grado de correlación es puesto en funcionamiento en todas las técnicas digitales de procesamiento usadas en el procesamiento de Señales Ultrasónicas de Velocímetros Doppler para extraer información, tales como la velocidad.

El avance principal del pulso Doppler Ultrasónico es la capacidad de ofrecer *información espacial asociada a los valores de velocidad*. Desafortunadamente, al estar la información disponible por periodos, esta técnica sufre del teorema **Nyquist**. Esto significa que una velocidad máxima existe para cada pulso de repetición de frecuencia (Prf):

$$V_{\max} = \frac{c}{4 \cdot T_{\text{prf}} \cdot f_e \cdot \cos \theta}$$

Además de la limitación de la velocidad, existe una limitación en la profundidad. El disparo ultrasónico que viaja en el fluido a una velocidad que depende de las propiedades físicas del líquido. La frecuencia de los disparos repetidos da el tiempo máximo en el que el disparo puede viajar y regresar al transductor. Esto da una profundidad de:

$$P_{\max} = \frac{T_{\text{prf}} \cdot c}{2}$$

De las dos ecuaciones superiores, podemos ver que aumentando el tiempo entre los pulsos (TPRRF) se incrementara la profundidad máxima permitida, pero reducirá la velocidad máxima que puede ser medida. La velocidad y profundidad máxima están relacionadas de esta manera con la siguiente ecuación:

$$P_{\max} V_{\max} = \frac{c^2}{8f_e \cos \theta}$$

3.2.1.- Medidor Acústico Modelo ADFM

El medidor acústico de flujo o por sus siglas en ingles ADMF es un aparato compuesto con cuatro transductores cerámicos de velocidad que emiten frecuencias Doppler. Los transductores transmiten pulsos codificados en una frecuencia por cuatro rayos y que son capaces de apuntar a puntos específicos, y solo mide estas señales reflejadas. Estas señales colisionan con materiales en el agua y son recibidos por el instrumento. El cambio de frecuencia de cada señal permite el cálculo de la velocidad del agua y con el uso de un algoritmo, el perfil de velocidades para un área específica; por lo tanto el patrón de velocidades es entonces establecido para toda la profundidad del flujo.



Fig. 3b.

En la figura 3b. se muestra la configuración de los cuatro transductores cerámicos que se encuentran inclinados hacia fuera del instrumento.

Un sensor en el centro del instrumento mide la profundidad del agua en el canal. Cuenta con una exactitud de $\pm 2\%$ del gasto

El sistema ADMF tiene un valor aprox. De \$ 170,000.00

3.2.2.- Medidor Ultrasónico Modelo Mace Agriflow

Un medidor de flujo doppler provee muestreos de velocidades remotas y mediciones de flujo integrado basado en el principio físico llamado disparo doppler. Los sensores pueden cualquiera que sea el caso puede emitir un rayo continuo de señales acústicas a un ángulo abierto a partir de la horizontal donde está colocado el aparato o rayos intermitentes. Rayos continuos de Doppler envían una señal continua con un transmisor y mide las señales de retorno de partículas a lo largo de todo el rayo con un receptor. Las velocidades medidas de las partículas son resueltas en una velocidad principal que puede ser relacionada a la velocidad media del canal.



Fig. 3c. Microprocesador en una caja enterrada de válvulas. La unidad descansa en una mampostería. De ladrillo para



Fig. 3d. Microprocesador con pantalla liquida instalado en una caja de herramientas para fácil acceso.

3.2.3.- Medidor de Efecto Doppler de Instalación Lateral para Canales Modelo SonTek Argonaut

Principios de Operación: El SonTek Argonaut provee muestreo remoto de velocidad e integración de flujo mediante un principio físico llamado efecto doppler. El Argonaut SL de 1.5 Mhz es un Doppler monoestatico, que usa dos rayos acústicos, cada uno girado 25° fuera del eje longitudinal del aparato. El transductor mide el cambio en las señales provenientes de un rayo para computarizar los datos de velocidad a lo largo del rayo.

El tamaño de muestreo y locación donde la medición de velocidad es recolectada es ajustado basándose en parámetros seleccionados por el usuario hasta 70 pies de ancho de canal. El área de medición puede ser extrapolada fuera del instrumento para evitar contaminación de la señal debido a esquinas o estructuras de fijación. El porcentaje de error en pruebas reales es de -1.4% a +2.6% en volumen integrado.

Este aparato está diseñado para una colocación lateral para estructuras como muros verticales, paredes de canales revestidos etc. Los sensores Argonaut acústicos: recolector electrónico, sensor de temperatura, sensor de presión y procesador son configurados en un dispositivo resistente a la presión hidráulica. Figura 3e.



Fig. 3e.

El costo de este aparato varía de 6800USD hasta 12800USD dependiendo de los componentes adicionales del sistema.

3.3.-Principio del Medidor de Velocidad de Campo Doppler UDVF

La técnica (principio) del medidor de velocidad de campo (UDVF), es un método que permite la medición de las tres componentes de velocidad (V_x, V_y, V_z) simultáneamente en un volumen pequeño.

El UDVF tiene todas las ventajas de los medidores clásicos de velocidad doppler como la capacidad de medir en líquidos no translucidos. Una de las propiedades más interesantes de esta técnica comparada con las otras es que puede tomar más de una componente de velocidad en su tiempo real simultáneo. Unos pocos milisegundos son necesarios para digitalizar y poner en pantalla un campo de velocidades tridimensional.

3.3.1.-Principio de Medición

El UDVF está basado en un sistema de 4 transductores. Solo uno de estos es usado como emisor. Los otros son usados como receptores (medidores).

Esta configuración cumple las mismas condiciones que el UDV-3d (medidor ultrasónico de tres dimensiones; los receptores están colocados uniformemente alrededor del emisor, los cuatro rayos ultrasónicos cruzan en un solo punto), excepto que la punta del emisor ni tiene que estar dentro del plano formado por los receptores. Y prácticamente, el ángulo entre el rayo del receptor y emisor debe ser más abierto en el UDVF que en el UDV-3d.

El punto de intersección de los cuatro rayos, es llamado el punto de referencia y corresponde al centro de la medición del volumen y el centro del plano coordenado

usado para poner en pantalla las velocidades.. Todas las mediciones de velocidad son realizadas alrededor de este punto en volumen de unos pocos metros cúbicos. Las tres componentes de más de 10,000 diferentes velocidades por vector son calculadas en una red de .5mm (500ns) de abertura.

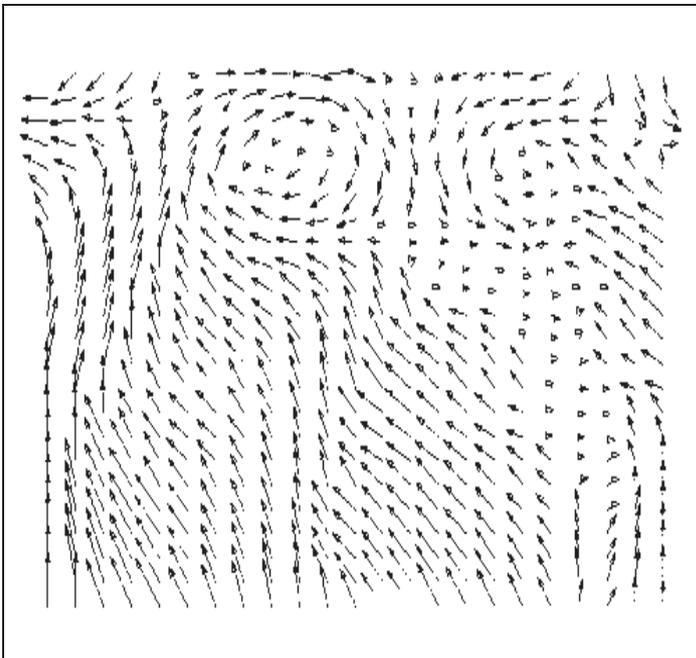
Cada par de emisor-receptor da una componente de velocidad. Esta componente es procesada por el programa del instrumento antes de representar las componentes en el sistema de coordenadas cartesianas.

La posición de los puntos de medición son determinados por el tiempo en que tardan en viajar los disparos. Para cada par de emisor-receptor, para un tiempo conocido, corresponde a un elipsoide. La intersección de los elipsoides da la posición teórica del punto de medición.

Analizando las señales de eco en los receptores a diferentes tiempos anteriores al disparo emitido un volumen completo puede ser analizado por el sistema UDVF. Este análisis es realizado en el tiempo en que viajan las ondas al punto de referencia. Pero desafortunadamente, esta medición solo puede ser usada como una estimación de el flujo anterior.

3.3.2.-Aplicación del UDVF

El UDVF usa una unidad de control externo especial que es conectada a un DOP2000. El programa del WDOP permite adaptar los parámetros de la medición a las condiciones del flujo y a las pruebas realizadas. Una pantalla típica de UDVF se muestra en pantalla entonces, como se puede ver en la figura siguiente.



Esta imagen (Figura 3f.) fue obtenida con el velocímetro Doppler DOP2000 conectado a un UDVF operando a 4 MHz. Estas mediciones son realizadas en un canal abierto en el cual el flujo fue perturbado por un cilindro colocado en el centro del canal.

Fig. 3f. Líneas de corriente de una imagen UDVF.

4.- MEDIDOR DE FLUJO STARFLOW

El Starflow puede medir velocidad, profundidad y temperatura además de estar integrados con medidores de varios datos. Estos son los primeros de la nueva generación de sistema de medición de flujo ultrasónico.

4.1.-Principios de Operación

El medidor de flujo doppler provee muestreos de velocidades remotas y mediciones de flujo integrado basado en el principio físico llamado disparo doppler. Los sensores emiten un rayo continuo de señales acústicas a un ángulo abierto de 15° a 40° a partir de la horizontal donde está colocado el aparato.

Rayos continuos de Doppler envían una señal continua con un transmisor y mide las señales de retorno de partículas a lo largo de todo el rayo con un receptor. Las velocidades medidas de las partículas son resueltas en una velocidad principal que puede ser relacionada a la velocidad media del canal.

La velocidad es calculada promediando las variaciones registradas en la frecuencia del sonido reflejadas por las partículas en el agua. La profundidad del agua es calculada con un transductor de presión integrado a una base de cerámica junto con el sensor de velocidad y el dispositivo que calcula la el gasto.

Usando la temperatura del agua a tiempo real, medida por su sensor, el microprocesador utiliza un factor basado en la velocidad del sonido en el agua a 20°C para calibrar el rango de lecturas de velocidad del sensor. Este factor puede cambiarse por el usuario en función de una calibración de campo.

El microprocesador puede internamente promediar las mediciones de velocidades en un tiempo fijo. El microprocesador tiene también la habilidad de calcular gasto con el producto de la velocidad media principal y el área transversal del área de la sección. Todos los datos obtenidos con el sensor son almacenados e internamente procesados en el microprocesador.



Fig. 4.a Instalación en campo del medidor Starflow

El microprocesador es una unidad separada y es colocada a lo largo con su batería de poder. El sensor Starflow es conectado a esta caja por medio de un cable largo de corriente. La batería y el cable de comunicación conectan al microprocesador a una computadora portatil. (Figura 4a.)

4.2.-Condiciones y Recomendaciones de Instalación

Una de las principales restricciones que debe tener un sitio de instalación es la uniformidad de la corriente. Esto significa que antes del medidor debe existir un tramo recto libre de obstáculos, por lo tanto el tramo recto debe ser 40 veces el radio hidráulico de la sección donde se encuentra el medidor. Si el criterio anterior no se cumple, por lo menos se debe tener un tramo recto de 10 veces el ancho del fondo del canal.

La señal Doppler recibida, y su relevancia de la velocidad computarizada, esta relacionada al flujo y la sección transversal del sitio de instalación. Un sitio de instalación tiene los siguientes requerimientos (tabla 4.a):

Requerimientos del Manual	Descripción
Flujos que sean de tipo laminar así la velocidad medida por el transductor puede ser relacionada a la velocidad media de el canal	La velocidad es medida en un corredor limitado en frente y sobre el sensor acústico. Esta área varía con la cantidad de material suspendido en el agua y las características del canal. El usuario debe determinar la relación entre la medición y la velocidad principal.
La sección transversal del canal debe ser estable	La relación entre el nivel del agua y el área de la sección transversal son usados como factor en el calculo de la velocidad.
Velocidades que son mayores a 20mm/seg.	El transductor no procesa velocidades menores que estas. La velocidad máxima es 5 metros/segundo. El transductor medirá velocidades en ambas direcciones.
Reflectores que estén presentes en el agua de tal manera que una adecuada señal de velocidad es producida	Generalmente a mayor sedimento en el agua mejor. El Starflow trabaja bien en cauces naturales de agua limpia. Pueden presentarse problemas en aguas demasiado limpias.
No aireación excesiva	Las burbujas son buenos reflectores y ocasionalmente pequeñas burbujas pueden entorpecer la señal. De cualquier manera la velocidad del sonido puede verse afectada si existe una gran cantidad de aire atrapado en el flujo.
El fondo debe ser estable y el Starflow no debe ser enterrado por depósitos.	Algún pequeño entorpecimiento parcial del transductor por sedimentos puede afectar la medida de la velocidad esto debe ser evitado.

Tabla 4.a. Requerimientos de instalación del Manual Starflow.

4.3.-Técnica de Descarga al Ordenador

La profundidad es medida y usada con una relación de altura-área para determinar el área transversal donde se está haciendo la medición del gasto. Esta relación de altura-área o forma de sección (circular, trapezoidal) es programada en el medidor de gasto como parte de la información del sitio. Por supuesto la exactitud de esta relación es fundamental para la exactitud de los datos descargados al ordenador. Cada sistema medidor de flujo intenta medir la velocidad media del canal usando las técnicas de medición de velocidades antes descritas.

El área de la sección transversal y la velocidad media medidas por el instrumento son multiplicadas para obtener el gasto.

Conversión de Datos a Velocidad Principal

Los datos almacenados de velocidad tal vez requieran ser ajustados durante su post-procesamiento para obtener una velocidad principal para el canal. Los factores utilizados serán específicos del sitio y serán determinados por el operador. Esto será realizado obteniendo una velocidad media por medios convencionales y comparándola con la velocidad media del Starflow si es necesario este procedimiento se realizará con varias descargas. Donde la relación sea compleja o inestable la exactitud de este método se verá comprometida.

En flujo laminar la velocidad principal del canal se puede esperar entre 90% y 110% de la velocidad calculada.

En canales pequeños (por ejemplo tuberías de 500mm de diámetro) el factor tal vez este cercano al 100% esto se verá como un área representativa del flujo que afecte al Starflow y que contribuya al cálculo de la velocidad.

En canales grandes solo el área adyacente al Starflow contribuirá al calculo de la velocidad y la relación dependerá en como esta porción se relaciona con la distribución de la velocidad en el canal. Un instrumento colocado en el centro del gasto será normalmente mayor en área a otra posición. Sin embargo en un canal profundo el Starflow tal vez solo vea la porción baja del perfil de velocidades.

Medición de la Profundidad

La profundidad del agua es medida usando un sensor en estado sólido presurizado colocado debajo del Starflow y conectado a la presión atmosférica por medio de un tubo insertado dentro del cable de señal. La presión del agua es sentida por medio de una cavidad de presión que se ha diseñado para sentir la profundidad en frente del transductor de velocidad. La forma de la cavidad es diseñada para reducir los efectos de la velocidad en el sensor de presión. Estos efectos son significativos a velocidades arriba de 2m/seg.

El tubo de ventilación está abierto a la atmósfera a través del cable conector y un tubo ventilado contenedor de desecante para asegurar que la humedad no entre al tubo de ventilación.

4.4.- Conocimiento y Manejo del Programa Starflow

El sistema Starflow se complementa con el manejo del programa STARFLOW modelo 6301. Este programa es el que permite la operación de los instrumentos de manera lógica y provee un sistema de manejo y recolección de datos concretos fácil de usar.

Al ser un componente lógico necesita de un ordenador desde el cual se puede ejecutar. Este ordenador necesitara según las recomendaciones del manual de Starflow los siguientes requerimientos del Sistema:

- Procesador 386 con 4Mb en Ram
- Monitor EGA o VGA a color o blanco y negro
- Disco duro con 10Mb libres
- Puerto de conexión tipo RS-232 disponible
- Sistema operativo MS-DOS 5 o equivalente
- Discos de 3 ½ disponibles para la instalación

Estos requerimientos muestran como los ordenadores existentes cumplen con los requerimientos ya que no necesita de gran capacidad lógica.

4.4.1.-Instalación

El programa Starflow se puede usar en una PC IBM o compatible. Se provee en dos discos de 3 ½ (A y B).

El programa Starflow es rápido y fácil de instalar usando el comando de INSTALACIÓN (install) ejecutable del disquete etiquetado como "A", este asegura que todos los archivos necesarios son copiados al disco duro. Durante la instalación es importante definir a que directorios serán enviados los esquemas creados. Se puede configurar el programa seleccionando el lenguaje, unidades de medición y el video a color o monocromático. Puede también especificar que puerto se usará para cargar, descargar y comunicarse con el instrumento Esta definición es importante ya que el instrumento solo reconocerá un puerto.

El comando INSTALAR (Install) es ejecutable desde el MS-DOS. El procedimiento a seguir se puede enunciar como sigue:

- Si esta usando Windows, coloque el MS-DOS en la ventana principal.
- Los archivos de instalación se graban en el directorio en que se ejecute el programa por lo que se recomienda posicionarse en el directorio C:
- Coloque el disco de 3 ½ en el ordenador y presione aceptar:
- Después teclee A: INSTALL para el disco A ó B: INSTALL para el disco B.

La instalación procederá automáticamente y transferirá el programa Starflow al disco duro del ordenador como sigue.

- a. Los archivos del sistema son colocados en el subdirectorio: C:\STARFLOW
- b. Esquemas y datos son colocados en el subdirectorio C:\STARFLOW\SHEMES
- c. Una vez que la instalación este completa, inicialice el programa Starflow con el comando: STARFLOW (C:\STARFLOW\STARFLOW)

Otra manera de instalar sin necesidad de ejecutar MS-DOS es transfiriendo la totalidad de archivos de los disquetes a una carpeta conocida ubicada en la unidad del disco duro. Después ejecute los archivos INSTALL A e INSTALL B sucesivamente estos son los archivos con extensión .EXE.

Cuando se ejecuta el comando STARFLOW en el subdirectorio Starflow se activa la pantalla de inicio que se muestra en la figura 4.b, en la que se aprecian las opciones que se pueden utilizar.

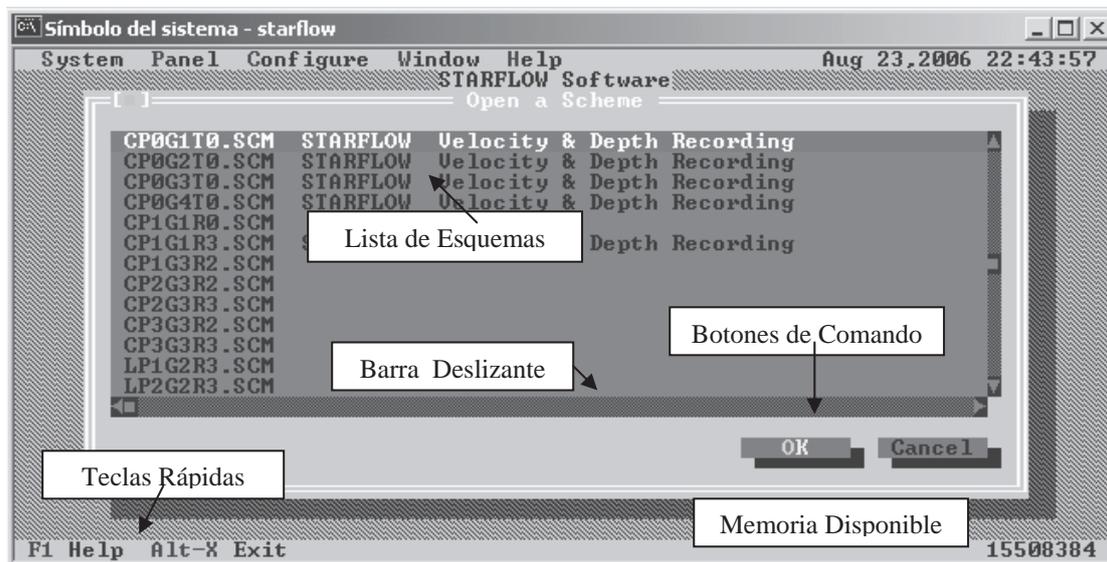


Figura 4.b. Ventana de Apertura de esquemas

4.4.2.-Habilidades Básicas

El Starflow tiene una presentación de ventanas y aunque se maneja por medio de estas requiere del uso de teclas rápidas y otras funciones que los programas comunes en ambiente Windows no utilizan por lo que es pertinente enumerar las mismas a manera descriptiva:

1. Teclas Rápidas

Las siguientes teclas en la tabla 4.b. realizan la función listada cuando se usa el editor de esquemas (Scheme Editor) o el modo de prueba de esquemas (Scheme Test Mode).

Tecla	Herramienta en Menú	Función
F1	Ayuda	Pone en pantalla la ayuda de posición del puntero
F2	Archivo- Guardar	Guarda los cambios hechos en la ventana
F3	Archivo- Abrir	Abre el cuadro de dialogo de el esquema
F5	Ventana-Acercar	Acerca la ventana activa
Ctrl.-F5	Tamaño-Ventana	Cambia la posición o el tamaño de la ventana
Shift-F5	Orden-Ventana	Ordena las ventanas abiertas
F6	Siguiente-Ventana	Muestra la ventana siguiente
Alt-F3	Ventana-Cerrar	Cierra la ventana activa
Alt-n		Pone en pantalla la ventana enumerada
Alt-W	Ventana	Al menú principal
Alt-X	Salir	Regresa a MS-DOS

Tabla 4.b. Teclas de función utilizadas por el programa Starflow.

2. Botones de Comando

Un cuadro de dialogo puede incluir un botón de comando que ejecuta un comando usando la información en el cuadro.

Para seleccionar un comando podemos accionarlo con el ratón o con el teclado.

- Presionar *tab* para mover el cursor de un campo a otro
- Presionar la barra espaciadora o aceptar para seleccionar el botón resaltado ó podemos usar la letra subrayada si es que la tiene manteniendo *Alt* más la letra.

Cuando se selecciona un botón de comando, el cuadro de dialogo se cierra y el comando toma efecto.

3. Cuadros de Texto

Un cuadro de texto es un rectángulo diseñado para escribir en el. La utilidad más usual en el programa Starflow de esta opción será una descripción útil para identificar el esquema creado o el archivo que se desea descargar al ordenador. Para utilizarlo el Starflow automáticamente cuestionará al usuario para proceder a teclear el comentario deseado o proseguir.

4. Cuadros de lista

Cuando hay muchas opciones a elegir el Starflow despliega una lista. Para seleccionar una de estas opciones, se usan las flechas de cursor. Si la lista es más grande que el cuadro aparece a un costado una barra deslizante. Para ver otras partes de la lista,

podemos seleccionar la barra con el ratón o presionando las teclas: Pagina Siguiente o Pagina Anterior.

5. Listas Deslizantes

Una lista deslizante aparece cuando varias opciones se presentan en una misma ventana. Note que a un costado aparece una flecha en un recuadro en la esquina de la ventana, para ver las opciones podemos hacerlo con el ratón directamente o con la flecha cursor.

4.4.3.- Editor de Esquemas

El editor provee herramientas para crear nuevos esquemas o modificar ya existentes.

En primera instancia para acceder al editor de esquemas se tiene que abrir el menú del sistema para seleccionar el *Editor de Esquemas* (Scheme Editor).

La ventana de apertura de esquemas aparece primero. Para abrir un esquema, selecciónelo de la lista, después presione el botón "OK". Seleccionar Esquema (Scheme) de la barra de menú después seleccione el comando abrir. Una vez que un esquema ha sido seleccionado cuando se ha abierto el editor de esquemas, aparecen algunas ventanas que muestran algunos elementos del esquema actual.

Una manera fácil de crear tu propio esquema es siguiendo estos pasos:

- De el menú del sistema seleccionar Editor de Esquemas(Scheme Editor)
- Abrir un esquema de demostración, como DEMOFLO
- Cambiar los elementos del esquema para ajustarlos a tus requerimientos
- De el menú principal de esquemas, seleccionar: Guardar Como (Save As)...Guardando el esquema con un nombre diferente.

El siguiente ejemplo muestra como editar el esquema DEMOFLO, uno de los ejemplos proveídos por el programa Starflow. Para cambiar cualquiera de los elementos, simplemente seleccionar la ventana, moviendo el cursor al elemento que se desea modificar. Por ejemplo para cambiar el *intervalo de registro* (Log Buffer) de 10 minutos a 20 minutos.

- Activar la ventana de Programa (presionando con el cursor ó con F6). Cuando este seleccionada, la ventana de Programa en frente de las otras con un doble borde alrededor.
- Mover el puntero a la opción Intervalo de Registro (Log buffer). Cuando sea seleccionada, el intervalo de registro estará resaltado.
- Mover el cursor al dígito que se desea cambiar.

Se pueden usar estos pasos para realizar cualquier otro cambio a los esquemas de demostración así el esquema quedará configurado a diferentes necesidades. Por ejemplo, cambie la descripción. Primero, active la ventana general presionando sobre la misma. La descripción en el recuadro de texto; Demostración Starflow (Demo Flow),

esta resaltada. Simplemente teclee en ella la nueva descripción. El texto resaltado se borra cuando se sobrescribe en él.

Finalmente, podemos darle al esquema otro nombre.

- De la barra de menú, seleccione Esquema (Scheme). De la lista desplegable de esquemas seleccione Guardar Como (save as).
- Teclee el nuevo nombre en el recuadro de texto de guardar archivo como (save file as), después presione el botón de comando OK. El nombre del esquema es hasta ocho caracteres. Usted puede utilizar todos los caracteres del DOS.

4.4.3.1.- ¿Cómo Crear un Nuevo Esquema?

Para crear un nuevo esquema seleccione la opción Esquema (Scheme) de la barra de menú, después seleccione crear... de la lista desplegable.

La primera ventana que aparecerá le permite seleccionar el tipo de aparato que está usando. Como el 6526A-STARFLOW que aparece como predeterminado, usted puede seleccionar OK para continuar. Es importante identificar el instrumento ya que la selección de una opción incorrecta resultará en una exactitud inapropiada.

Una vez que haya seleccionado el tipo de aparato, una serie de ventanas aparecerán con las opciones que definirán su esquema.

Estas ventanas se enumeran de la siguiente manera:

1. Generalidades

- **Descripción:** Para catalogar los esquemas usted puede dar una pequeña descripción (de hasta 70 caracteres). Esta descripción aparecerá con la lista de esquemas para ayudarlo a seleccionar uno de ellos.
- **Comentario de Descarga:** Un comentario puede ser adherido a un archivo descargado cuando este descargándolo del Starflow. Si usted presiona una X en el recuadro, cuando proceda a descargar un esquema, el programa le señalará cuando hacerlo.

Un comentario de descarga es útil para identificar las descargas. Este aparece en la lista de esquemas descargados para ayudarlo a escoger entre varios archivos del mismo esquema. Puede ser usado para identificar el lugar de la prueba o notar circunstancias especiales al momento de la descarga. Un comentario de descarga podrá tener alrededor de 40 caracteres.

2. Comunicaciones

Esta ventana define las características de comunicación entre el Starflow y el ordenador. Usted puede activar esta ventana por medio de la opción de la opción Ventana en la barra del menú principal.

- **Puerto de Comunicación:** Seleccione el puerto del ordenador que usara para conectar el Starflow.
- **Rango de Baudios:** La velocidad a la cual los datos van a viajar de y para el ordenador se le conoce como rango de baudios. Para una conexión directa RS-232, el rango es usualmente 9600. Si se esta usando una unidad remota seleccione la máxima.
- **Vía Modem:** Si esta conectado al Starflow con un modem, active el recuadro con una X.
- **Teléfono:** De el número a marcar

3. Programación

La ventana de programación (program) define como trabaja el sistema lógico

- **Modo Lógico:** El primer campo en la ventana es de hecho el modo que se comporta el Starflow seleccionando una de las opciones de la lista desplegable. La opción predeterminada es el evento 1: Siempre, Activación: Ninguna. Esto significa que la grabación no depende de algún evento (por ejemplo avenida máxima, o tirante máximo). Se puede programar el Starflow para registrar datos solo cuando las condiciones son conocidas; por ejemplo, cuando el tirante sobrepase 1 metro, o cuando la temperatura descienda a 0 grados centígrados. Estas condiciones son definidas como eventos. Una vez definidos, se puede nominar estos eventos en el Modo Lógico. Si el modo lógico incluye un evento, el Starflow hará un registro inmediatamente el evento se vuelva cierto y subsecuentemente cada intervalo de grabación siempre y cuando se mantenga cierto.
- **Grabación (Log-Buffer):** La grabación de datos puede ser circular o lineal. El tipo lineal almacena los datos hasta que se completa la capacidad. Ningún dato tomado después de esto será almacenado. Para grabar de nuevo, se programa nuevamente el Starflow con el esquema (descargando primero). Cuando un tipo circular se completa nuevos datos se sobrescriben sobre los más viejos almacenados, así que los más recientes son almacenados si así se requiere a expensas de los datos anteriores.
- **Frecuencia de Medida:** La frecuencia de lectura (Scan Rate) del transductor se le llama frecuencia de medida (también llamada frecuencia de muestreo). El Starflow tiene un amplio rango como se enlista la barra deslizante; el predeterminado es a 15 segundos. La frecuencia de muestreo y el intervalo de grabación (Log interval) son interdependientes: si la frecuencia de muestreo es muy rápida el intervalo de grabación se verá limitado.
- **Intervalo de Grabación:** El periodo entre grabación de datos puede ser determinado en horas, minutos y segundos. Este será el tiempo en que los valores son grabados.
- **Sub Intervalo:** Esta capacidad permite la habilidad de limitar el periodo sobre el cual los promedios, totales, máximos y mínimos son calculados. El sub intervalo es un periodo anterior restringe el termino del intervalo de grabación. Si no hay sub intervalo definido los valores promedios, totales, máximos y mínimos serán calculados sobre todo el intervalo de grabación.

4. Variable a Grabar (Log Buffer)

Esta ventana pone en pantalla una lista variables y el tipo de datos a grabar de estas. El esquema predeterminado del Starflow tiene tres variables: profundidad, temperatura y velocidad. Para cada variable, un transductor ha sido asignado. Si se esta usando la extensión adicional de medición de gasto, variables adicionales aparecen.

Para cada variable, hay una columna de recuadros usados para activar cada función.

RAW: Valor leído en el intervalo de grabación

MAX: Valor máximo leído en el intervalo de grabación

MIN: Valor mínimo leído en el intervalo de grabación

T1: Este no esta disponible para el Starflow

T2: Suma de todos los valores leídos en el intervalo de grabación hasta 65,535

T4: Suma de todos los valores leídos en el intervalo de grabación 4, 294, 967,295

AVE: Promedio de todos los valores leídos durante el intervalo de medición

SD: Este no esta disponible para el Starflow

ave: Promedio de todos los valores leídos durante el sub-intervalo (promedio acumulado)

Para nominar que grabar o leer, mover el cursor al recuadro y activarlo con una X, presionando la barra espaciadora o con el ratón utilizando la misma acción para desactivarlo.

De la ventana de menú, la variable a grabar (log buffer) puede ser expandida para mostrar todas las variables disponibles o minimizada para mostrar solo las que están conectadas al aparato (lista parcial).

5. Instrumentos

La ventana de instrumentos provee las herramientas para:

- Instalar o remover un instrumento de un esquema
- Adherir o desactivar los instrumentos de los transductores
- Cambiar la escala predeterminada de los transductores
- Escoger una formula para aplicar a las lecturas del transductor
- Crear una etiqueta para los transductores en sus reportes y graficas
- Especificar las unidades
- Determinar la exactitud (número de decimales)

El Starflow ha sido previamente instalado en el esquema de demostración. Para ver que instrumentos están activados en el esquema se toman los siguientes pasos:

- Seleccionar la opción Ventana de la barra de menú
- Después, de la lista desplegable posiciónese en la opción de instrumentos (instruments). Un menú se activa debajo de esta opción dando la opción ver, instalar o remover.

El primer paso es siempre ver, cuando se selecciona el comando ver (view) una lista de instrucciones en el esquema aparecen. Los comandos aparecen debajo de la barra de estado. Los comandos para instalar, remover o editar instrumentos pueden ser ingresados presionando la letra de la barra de estado, con el ratón o utilizando las flechas y la barra espaciadora.

- Dejando la ventana de instrumentos abierta, seleccionando la opción Ventana (window) del menú y de nuevo posicionarse en la opción de instrumentos.
- Esta vez del menú que activa debajo de instrumentos seleccione instalar.

Cuando se ha seleccionado instalar se abre una ventana que contiene todos los posibles instrumentos.

Para instalar un instrumento en el esquema, simplemente posiciónese sobre el y presione aceptar o doble clic. Después de ser activado el instrumento aparecerá en la lista de instrumentos para esquemas que consta de cuatro opciones enumeradas de la siguiente manera:

1. Removiendo un Instrumento

Para remover un instrumento del esquema, selecciónelo y presione la tecla DEL. El instrumento seleccionado desaparecerá de la ventana de instrumentos de esquema.

2. Editando un Instrumento

Se puede adherir o remover partes de un instrumento o cambiar su escala editándolo.

- De la ventana de instrumentos, seleccione un instrumento, presione aceptar o doble clic. La ventana que aparece como el título del instrumento, en este caso, 6526-A incluye una descripción del instrumento y la lista de los transductores.
- Para cambiar la descripción del instrumento, sobrescriba en el cuadro de texto. Esta descripción aparecerá en la lista de instrumentos de esquema.
- Existen cuatro transductores en el Starflow: Profundidad, temperatura, velocidad y voltaje de batería.
- Cada transductor tiene su propia ventana de configuración. Estas aparecen cuando se selecciona cualquiera de ellas y se presiona doble clic o aceptar, mostrando sus atributos.

3. Configuración del Transductor:

- **Descripción:** Esta descripción aparece en la lista de transductores en la ventana de instrumentos. Se pueden utilizar hasta 39 caracteres máximo.
- **Descarga:** Se puede escoger de entre una lista desplegable. Introduzca el rango en los campos de máximo y mínimo. Esta ayuda predetermina la escala de los datos.
- **Escala:** La escala del transductor configura los cálculos a realizar en los datos para su presentación en una grafica. Se puede escoger en una lista desplegable. En el caso del transductor de profundidad, la escala completa $a...b$ se recomienda, donde a , es el valor mínimo (0) y b , es el rango máximo (2000). Con esta escala, los datos calculados son los

mismos que los del esquema. Se puede escoger incluso ninguna escala, para usar una formula, o aplicando un factor como: $ax + b$.

- **Formula:** Varias formulaciones han sido predeterminadas. Estos aparecen en la lista desplegable del menú. Ninguna de estas formulas son relevantes para el Starflow.
- **Título:** El título aparece en los reportes y las graficas. Este permite dar información sobre el transductor de hasta 9 caracteres.
- **Unidades:** Este detalle aparece en los reportes. Es especialmente útil si se están grabando varios tipos de datos. Capacidad de nueve caracteres.
- **Exactitud:** La exactitud determina cuantos decimales serán tomados en cuenta cuando se realicen los cálculos.

Cada uno de los transductores se diferencia uno del otro. Para familiarizarse con cada transductor, active la ventana de los transductores.

4. Instalando un Nuevo Instrumento

Cuando se seleccione instalar (presionando *insertar*) una ventana aparece en la cual se ingresa el código del nuevo instrumento.

Note que el instrumento esta enlistado en orden numérico. Antes de que ingrese el código aparecerá una segunda ventana. Ahora ingrese la descripción que aparece en el catalogo. Para instalar un transductor presione *insertar*. Después complete los detalles de la ventana.

4.4.4.-Extensiones de Gasto

El Starflow esta capacitado para calcular un rango amplio de variables de gasto, esto le permite ser usado en tuberías parcialmente llenas, canales abiertos y cauces naturales.

En este apartado es importante identificar los siguientes términos:

Área(A):	(sección transversal) Calculada por el Starflow utilizando la Tabla de Aforo de Área usando la profundidad. Unidades en cm^2 o dm^2 o m^2
Tabla de Aforo de Área (Area Rating Table):	Tabla de profundidad vs. área de la sección transversal
Profundidad (D):	Columna de agua sobre el Starflow. Unidades en mm.
Velocidad (V):	Velocidad media del agua en el canal. Unidades en mm/seg.
Frecuencia de Medida (SR- Scan Rate):	Frecuencia en el ciclo de medición (Predeterminada=60 seg.) Unidades=scans
Gasto (FR- Flow Rate):	Gasto instantáneo calculado como el producto de área y velocidad. Unidades en l/s o Kl./s o Ml/s
Volumen (F):	Volumen acumulado en la frecuencia de medida. Unidades en l o Kl. o Ml

4.4.4.1.-Creando un Esquema para Gasto

Crear un esquema para medir gasto es un proceso de cinco pasos:

1. Determinar las dimensiones del canal
2. Para canales abiertos crear un archivo de *Área Transversal* (Cross-Sectional Área) de extensión .XAC. Para otras aplicaciones, cree se propio archivo de área transversal con extensión .XAU.
3. Use el programa Starflow para añadir el transductor de gasto a la lista de instrumentos de esquemas.
4. Después active la ventana de *Variable a Grabar* (Log-buffer) y active las opciones deseadas.
5. Finalmente en la ventana de *Tabla de Aforo de Área* (área rating table) active:
 - Ingrese las mediciones (en caso de tubería circular) ó
 - Seleccione el archivo de área transversal a usar para la *Tabla de Aforo de Área* ó
 - En el caso de utilizar un archivo configurado por el usuario de tabla de aforo de área, ingresar el nombre conocido.

Una vez completada la definición del esquema, guarde los cambios.

4.4.4.2.-Creando una Tabla de Aforo de Área

Para calcular el gasto, el Starflow utiliza una tabla de relación, llamada tabla de aforo de área. Esta tabla se genera automáticamente cuando el esquema es guardado con información ingresada en la ventana del mismo nombre o en algunos casos de información generada por un archivo de de sección transversal.

Una tabla de aforo se crea para cada esquema. Esta tabla es generada por uno de tres métodos dependiendo del sitio de instalación del Starflow (tabla c).

Tipo	Locación Starflow	Como se Crea
Tubería	Tubería circular parcialmente llena	Ingresando tirante máximo (offset), diámetro y sector muerto (dead sector) en la ventana de tabla de aforo.
Canal Abierto	Canal abierto y cauce natural	Crear un archivo de texto. (Esquema.XAC) Activar este archivo en la ventana de aforo.
Definido por el Usuario	Otras formas como tuberías ovoides	Crear un archivo de texto (.XAU). Activar este archivo en la ventana de aforo.

Tabla 4.c. Tipos de secciones predeterminadas de instalación por el Starflow.

1. Canales Abiertos y Cauces Naturales

La definición de las dimensiones de cualquier canal consiste en coordenadas de distancia y niveles reducidos que definen el perfil del canal o del cauce. Estas coordenadas comprenden el archivo de área transversal (extensión .XAC), que es un archivo de texto en el directorio Starflow. Utilice un editor de texto para crear su propio archivo o modifique el predeterminado por el Starflow y guarde los cambios.

Para canales artificiales, esta información es sencilla de determinar. Para cauces naturales es necesario hacer actualizaciones para adecuarse a la forma del fondo. Adicionalmente, se requieren dos parámetros, el rango de profundidad y la extrapolación (offset).

- Rango (m)** El rango de profundidad del canal. Este define la máxima profundidad del canal. Existen cuatro rangos: 1m, 2m, 5m y 10m. En nuestro caso hemos seleccionado 1m. Es importante activar siempre el rango mínimo posible compatible con su aparato para obtener mejores resultados. (Por ejemplo: Para un Starflow con rango a 2m usado en un canal de máximo 900mm, seleccione 1m para mejorar la exactitud.
- Extrapolación(Offset)** Esta define una extrapolación (nivel reducido) del Starflow en referencia al sensor de profundidad.

2. Determinando la Distancia/ Nivel Reducido

Seleccione un punto de referencia arbitrario por encima del nivel máximo esperado del flujo así esta será la coordenada (0,0). El Starflow no considera valores negativos. La profundidad es tomada hacia debajo de esta coordenada como valores positivos.

Mida a lo largo del canal y baje a la base del canal tomando puntos suficientes para definir el perfil del canal. Puntos adyacentes serán conectados por líneas rectas. Deben existir suficientes coordenadas como las que se deseen.

Los puntos de referencia (0,0) puede ser cualquier dato que quede por debajo del nivel máximo de agua.

3. Ejemplos:

Este canal es rectangular en dos partes que son de 3 metros de ancho y 1 de profundidad con 1m y 300mm de canal secundario en el centro (figura 4.c).

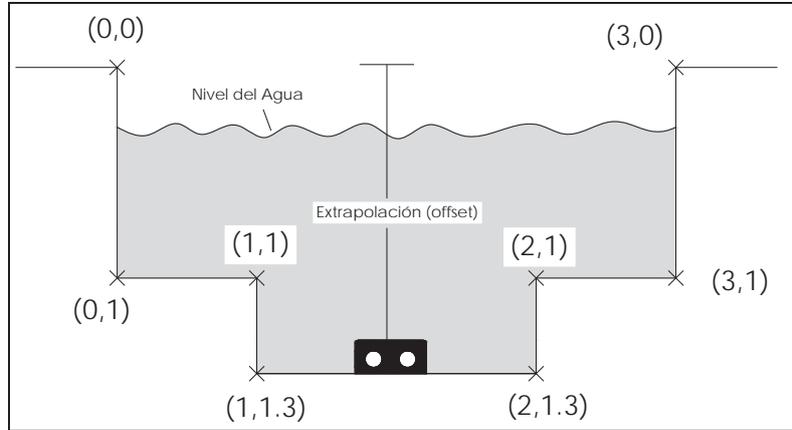


Fig.4.c. Ejemplo de canal abierto con sección variable, para archivo de aforo de área.

El archivo de sección transversal (OCEX2.XAC) es como se muestra en la figura 4.c:

```

0 0
0 1000
1000 1000
1000 1300
2000 1300
2000 1000
3000 1000
3000 0
    
```

La ventana de tabla de aforo de área para este caso es como se muestra en la figura 4.d:

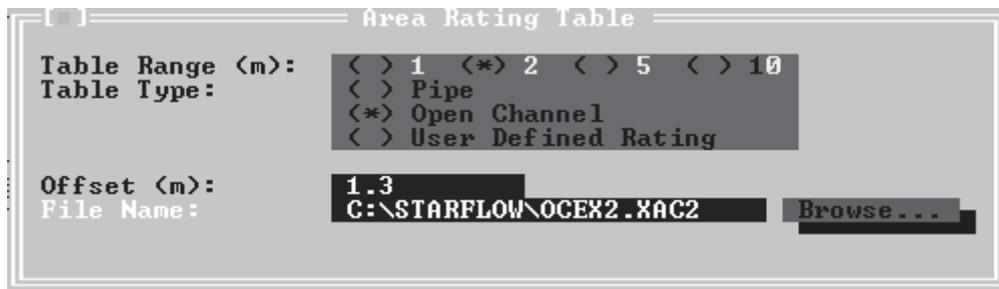


Fig. 4.d. Configuración de la ventana de tabla de aforo de área para canal abierto.

Ejemplo de Sección Irregular

La sección irregular es de 3 metros de ancho con la forma de fondo mostrada a continuación (figura 4.e.):

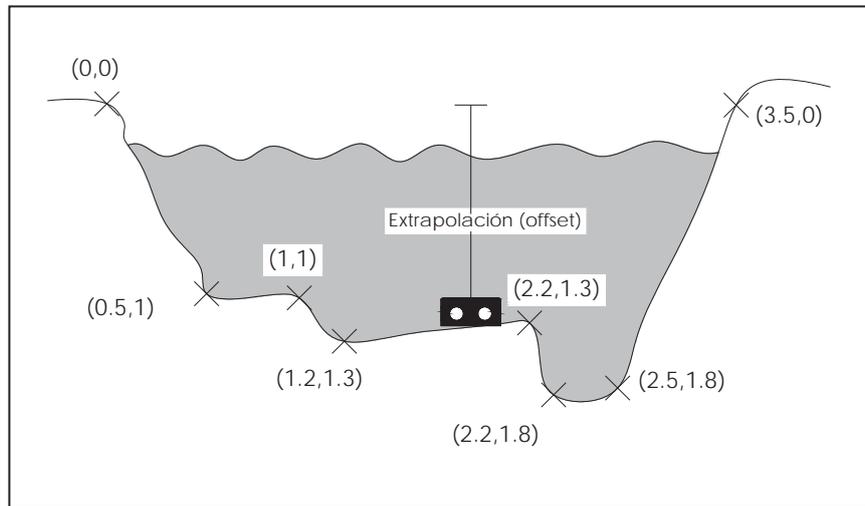


Fig. 4.e. Identificación de coordenadas para tabla de aforo de área para sección irregular.

El archivo de sección transversal (OCEX3.XAC) es como se muestra:

```

0 0
500 1000
1000 1000
1200 1300
2200 1300
2200 1800
2500 1800
3500 0
    
```

La ventana de tabla de aforo de área para este caso es como se muestra (Figura 4.f.):

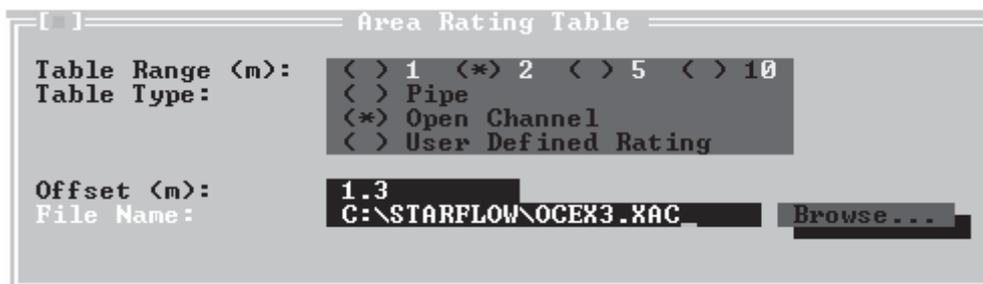


Figura 4.f. Configuración de la ventana de tabla de aforo de área para sección irregular.

4.4.4.3.-Instalando la extensión de Transductor de Flujo

Una vez que se haya seleccionado un archivo de sección transversal en seguida puede crear un esquema para medición de flujo en ese canal.

En el editor de esquemas, el menú de variable a grabar 1(Log-buffer 1) muestra los tres canales definidos en los instrumentos básicos del Starflow (tubería, canal abierto y aforo definido por el usuario).

El siguiente paso es escoger la opción de instalar instrumentos que pone en pantalla una lista de instrumentos y sus extensiones.

Escoja el transductor de gasto que se ajuste a sus necesidades. Habiendo hecho la selección ahora cuatro nuevos canales aparecen (área, gasto, gasto acumulado, volumen).

4.4.5.-Histogramas de Velocidad

Los histogramas de velocidad que usted verá cuando se utiliza el Rastreo de Velocidad (velocity trace) del Panel de Control es la visualización del canal que percibe el Starflow. Es la composición de un rango de factores incluyendo ambas características del equipo, que son el método de muestreo y las dinámicas de velocidades dentro del canal. Esta es una opción que el Starflow realiza en el manejo de los datos como una tarea predeterminada aunque las mismas características descritas a continuación se presentarán en histogramas de velocidad creados por el usuario en una hoja de cálculo por ejemplo.

Las condiciones mencionadas a continuación se cumplen debido a que los datos recolectados son idénticos para cualquier hoja de cálculo o procesador que se decida utilizar, el usuario es quien debe de hacer la correcta interpretación e identificación de los posibles errores que se mencionan a continuación.

1. Factores inherentes a los Histogramas Doppler

El ancho y forma del pico es causa de los varios factores que son medidos por el doppler como un eco. En canales de riego siempre existen diferentes velocidades incluso en perfectas condiciones con toda el agua viajando a la misma velocidad el histograma seguirá teniendo forma de una campana delgada. Esta es una composición de una variedad de efectos relacionados al usar dopplers para medir la velocidad del agua en descargas.

2. Variación del Ángulo Mientras las Partículas Pasan a Través del Rayo Principal

El rayo acústico tiene un ancho, o abertura de cerca de 10° . La línea central del rayo esta alineada a 30° por encima de la horizontal, pero mientras la partícula viaje horizontalmente el rango varia de entre 25° y 35° . Los ecos que son captados son la componente de la velocidad a lo largo de la línea entre la partícula y el transmisor, es por eso es que varía $\pm 5\%$ como la partícula atraviese el rayo.

4.4.5.1.- Interpretación Grafica de Errores

1. Medición de Errores Debido a las “Interferencias”

Interferencia es un término conveniente usado para clasificar cualquier eco doppler que no pueda ser interpretado como un legítimo valor de la componente de la velocidad.

El Starflow esta midiendo pequeñas señales que rebotan de pequeñas partículas a lo largo de las líneas de corriente con otras muchas partículas todas en movimiento. Algunas señales que rebotan son ecos de ecos, vagas y ambiguas que pueden ser malinterpretadas por el receptor resultado en una medición incorrecta.

Esto resulta en que algunos datos son medidos fuera de los resultados esperados. Estos pueden representar un alto porcentaje en los registros aunque están distribuidos a largo de la misma. Estos son usualmente estadísticamente irrelevantes por las técnicas usadas para definir la media.

2. Características del Canal que Afectan a la Señal

Todas las señales que son reflejadas por los factores señalados anteriormente. Factores adicionales relacionados con el canal y las características del flujo pueden influir en la medición de la velocidad. Esto resulta en un ensanchamiento en la base de los histogramas de velocidad.

3. La Naturaleza y Localización de Reflectores que Producen las Señales Doppler

El Starflow capta los ecos de la señal doppler de todo lo que sea acuáticamente reflexivo y este dentro del rayo. No se discrimina de donde viene el eco y los reflectores más grandes y cercanos generaran señales más fuertes que los más pequeños y distantes. Los reflectores pueden incluir.

- Todo tipo de partículas en suspensión
- Carga en suspensión como la arena y carga de arrastre que se mueve cerca del fondo del río
- Hojas, ramas y material orgánico
- Oleaje provocado por la velocidad y el viento
- Burbujas y oxígeno disuelto

Durante el tiempo que toma en atravesar la señal, un reflector puede ser captado 100 o más veces. La velocidad de este reflector puede dominar un periodo de medición o registro. Esto tenderá a ser promediado o absorbido por los demás registros si solo ocurre ocasionalmente. Si ocurre consistentemente es debido a las características del sitio. La relevancia de este suceso en la velocidad media del canal necesitara de su análisis y comprensión para su uso.

4. Variaciones de Velocidad Debido a Cambios de Sección Transversal

Si se inducen cambios a la sección transversal produciendo diferentes regimenes de velocidad, consecuentemente distorsionarán los histogramas del Starflow. En flujos

pequeños en corrientes limpias, el rayo puede reflejarse desde cierta distancia y registrar velocidades inesperadas. Velocidades mayores pueden registrarse incluso en sitios particulares del canal donde el agua se acelera alrededor de los obstáculos, o seguir las velocidades mayores de aguas arriba.

5. Midiendo Velocidades Inesperadas

En algunos casos las señales provienen de objetos erróneos. Algas que ondulan, animales acuáticos, un reflector estático en el fondo, sedimentos que se precipitan lentamente u olas en la superficie pueden producir señales doppler no relacionadas con la velocidad del agua.

El campo o dominio del Starflow puede extenderse al menos a un metro a lo largo del rayo en agua limpia y se reduce a medida que la carga de sedimentos aumenta.

El rayo puede reflejarse debajo del espejo del agua y puede detectar diferentes velocidades a las esperadas. Esto resulta en un pico distorsionado, o un pico doble o múltiple en algunas situaciones, la composición de todas las velocidades a lo largo del rayo. Estos lugares no podrán ser usados para medición por su flujo no laminar.

6. Midiendo Velocidades Turbulentas

En flujos con una alta carga de arrastre de fondo se presentan una multitud de picos causados por el complejo movimiento de estas partículas. El hecho de que muchas velocidades similares se repiten indica que dichos valores son validos. Como interpretar esos valores es el dilema.

7. Efectos de las Variaciones en la Superficie del Agua

En aguas turbias la presencia de variaciones u olas en la superficie puede causar complicaciones. Las variaciones pueden ser causadas por viento u obstrucciones dentro del canal que se mueven a diferentes velocidades que las del canal.

En aguas claras o turbias la señal del Starflow puede llegar hasta la superficie. A medida que las variaciones se mueven causaran un efecto de variación en las señales reflejadas doppler. En ocasiones estas variaciones ocasionaran que la señal se aleje del transmisor. Una señal menor es detectada pero muchas otras señales se detectaran del agua y la velocidad medida se hará correcta.

Cuando las variaciones se posicionen de manera que funcionen como en espejo reflejara una señal fuerte dominando la medida en el universo de muestras. En la práctica, series de histogramas con estas características presentaran sesgos a ambos extremos de la velocidad, registrando una velocidad que no es correcta. Algunos sitios tienen características que favorecen las variaciones en la superficie del agua o líneas de corriente; la única manera de evitar estos datos incorrectos es no colocar el Starflow en un sitio con estas características.

8. Medición de la Velocidad en Canales Pequeños

El Starflow puede ser instalado en canales de ancho desde 75mm. Puede medir velocidades mínimas de 21mm/seg. En profundidades desde 25mm. Este rango esta por

debajo de la mayoría de los aparatos, compuertas o vertedores. De cualquier manera el Starflow se verá forzado al operar en estas extremas condiciones. Podrán presentarse las siguientes condiciones:

- El número de muestras será reducido. Mientras la velocidad sea más pequeña le tomara más tiempo al Starflow medir una distorsión doppler. Midiendo profundidades pequeñas, el volumen de agua que puede medir el Starflow se reduce. Estos factores se combinan en uno solo, el Starflow generalmente no podrá recolectar las muestras suficientes permitidas en un ciclo. De cualquier manera, a menos que el agua este extremadamente limpia, el Starflow registrara medidas suficientes para calcular un resultado sensible.
- Se incrementará la interferencia. Debido a su complicada naturaleza, habrá un incremento en la medida de velocidades muy altas. Esto se resuelve con el manejo de los datos obtenidos al extraer la velocidad media. Los datos registrados presentaran un salto de aprox. 3m/seg. alrededor del valor correcto.

9. Velocidades muy Pequeñas para Medirse

Cuando las velocidades caen por debajo del cual puede registrar el aparato (21mm/seg.) no se procesan. De cualquier manera, bajo ciertas condiciones, señales de interferencia si se pueden captar como una señal desordenada y ser interpretada como una velocidad mayor a la real.

10. Velocidades en Canales poco Profundos

Datos de poca calidad resultaran si el agua sobresale de los ojos de los transductores. En este caso se puede configurar el Starflow para desactivar el transductor de velocidad cuando a profundidad sea pequeña. El histograma de velocidad se verá entonces similar al de velocidades pequeñas.

El transductor de velocidad medirá tirantes bajos desde 5mm. Si es importante que este tipo de tirantes sea medido se puede instalar el Starflow en un canal cercano o en una oquedad que permita que el aparato nunca se descubra.

11. Interferencias al Transductor

Es inevitable que al montar un instrumento este se cubra con capas de lodo o algas. Habrá algunas ocasiones que se presente sedimentación o se incrusten sales. Estos efectos se reflejaran de la siguiente manera.

12. Algas y Otros Materiales Suaves

Cuando el transductor se cubre con una capa de 1-2mm, parece tener un pequeño efecto en las señales registradas. Al ser flexible el material la señal puede atravesar y regresar a través del mismo.

13. Transductor Enterrado en la Arena

Los transductores parcialmente saturados continúan operando. Si se saturan los dos transductores (emisor y receptor) pueden seguir funcionando de manera correcta si estos

quedan parcialmente cubiertos a la par. Censores completamente enterrados resulta en un colapso de la señal. La señal no puede escapar de esta capa de sedimentos.

14. Objetos en los Censores

Un efecto similar a la incrustación resulta de la obstrucción por pequeños objetos. Si los sensores están parcialmente cubiertos el funcionamiento no se ve afectado. De cualquier manera si un objeto como una hoja obstruye los dos sensores es suficiente para obstruir la señal completamente y producir un histograma similar al de histogramas enterrados.

15. Disturbios en el Perfil de Velocidades por Sedimentos

Sedimentos grandes en las cercanías podrían afectar los valores registrados debido al cambio del perfil de velocidades que ve el sensor. La distribución del flujo podría no ser laminar y la relación entre la velocidad media del canal y la del aparato pueda estar distorsionada.

4.4.6.- Procedimiento de Ejecución del Software

Para inicializar el programa Starflow es necesario activar el MS-DOS desde Windows y posicionar el cursor a la altura del directorio C:, luego teclear la instrucción *CD STARFLOW* para después ejecutar el programa tecleando *STARFLOW* posteriormente aparecerá la pantalla de inicio (Figura 4.g) que pone en pantalla los esquemas predeterminados o de demostración.

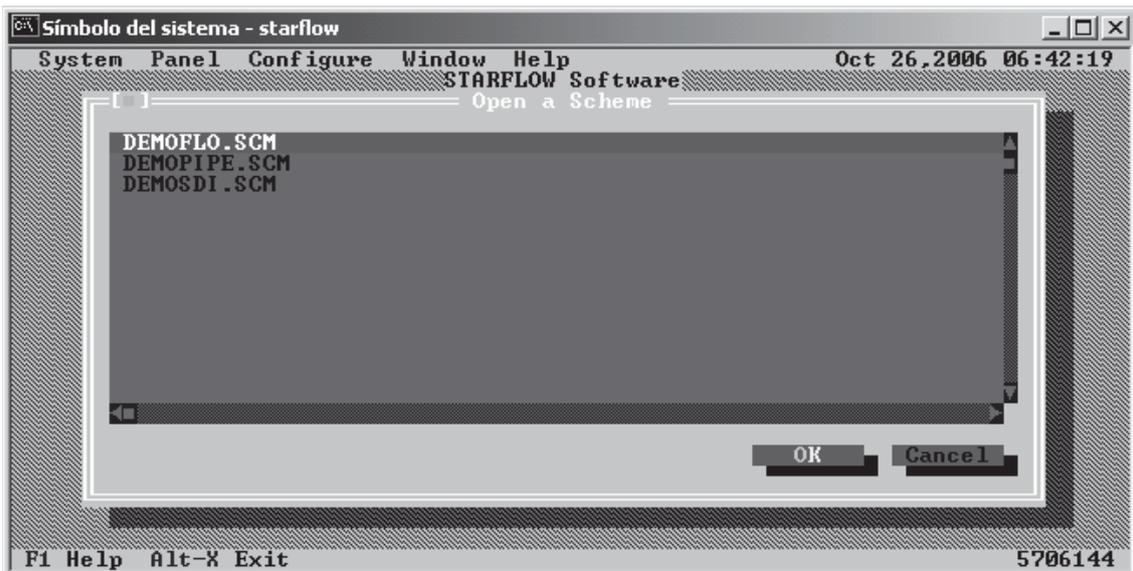


Fig. 4.g Ventana de inicio del programa Starflow mostrando los esquemas predeterminados

Para realizar un esquema seleccionar el *DEMOFLO.SCM* pulsando aceptar con lo que aparecerá la ventana de opciones de esquema (Figura 2). Del menú seleccionar *System*, con Alt+S. Una vez seleccionado aparecerán en pantalla opciones en una lista

desplegable (Figura 4.h) en la que se debe seleccionar *Scheme Editor* (Editor de esquemas).

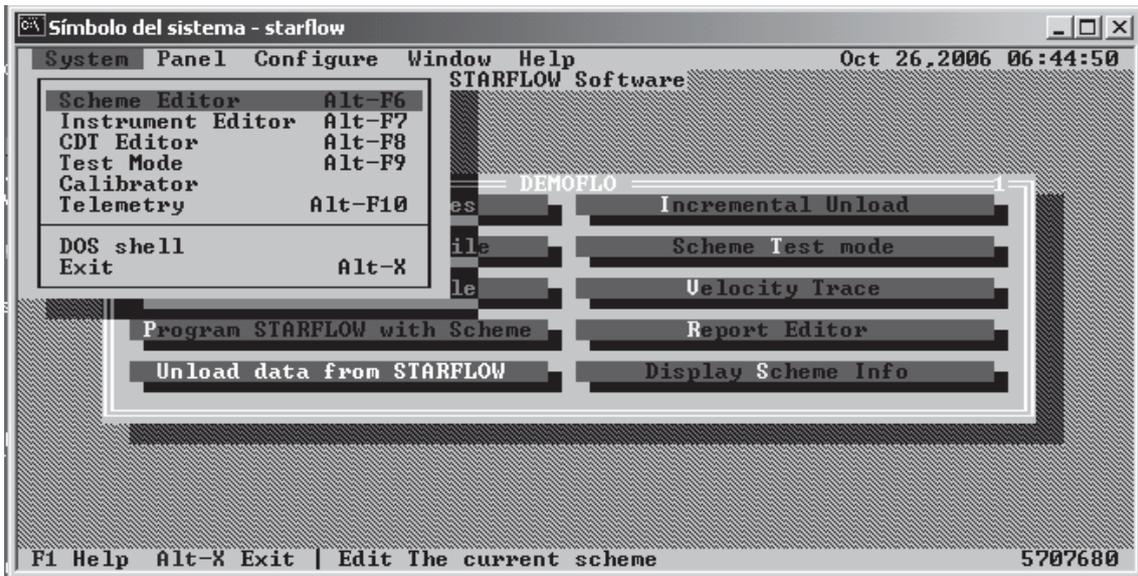


Fig. 4.h. Visualización de apertura de opción de editor de esquemas.

El *Scheme Editor* (Editor de esquemas) permite configurar el funcionamiento lógico en la ventana 3 (Figura 4.i) en la cual se selecciona *Scan Rate* a 1 minuto (lista desplegable), *Log interval* a 15 segundos (000:15:00.000) y *Sub Interval* en cero (000:00:00.000) ; donde *Scan Rate* es el intervalo de medición o tiempo de muestreo y *Log Interval* es el intervalo de registro o tiempo de registro.

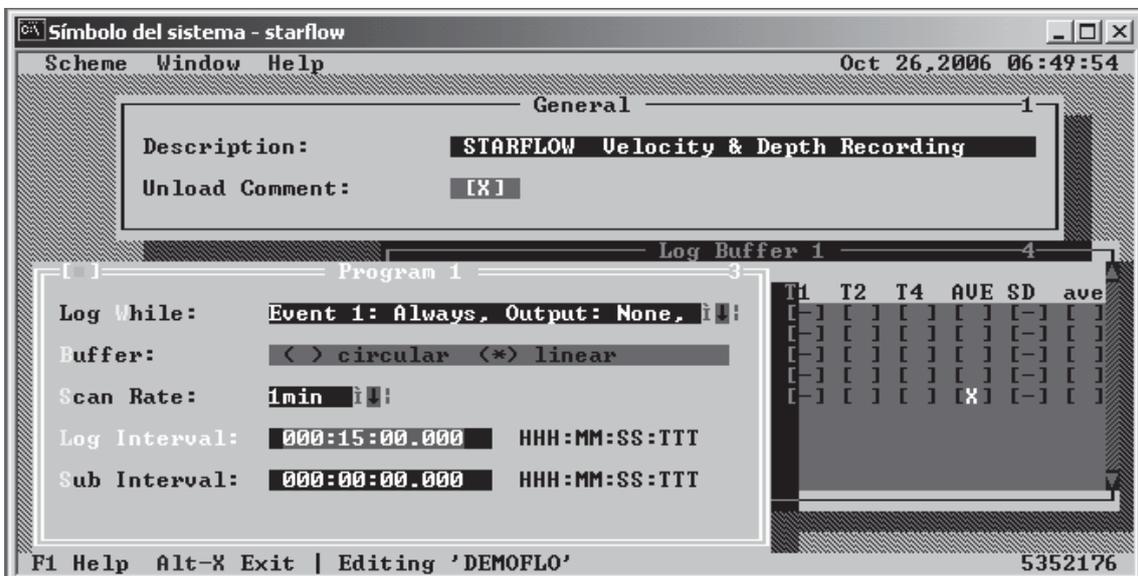


Fig. 4.i. Visualización de la ventana de editor de esquemas.

Con el procedimiento anterior se tiene configurado el aparato para realizar una prueba con las variables de velocidad, temperatura, y tirante. Para introducir las variables de gasto (Gasto, área y volumen) se elige la opción de *Instruments* (instrumentos) en la opción del menú, *Window* como se muestra en la figura 4.j.

Seleccionadola aparecerán más opciones entre ellas esta, *Install*; se sigue esta ruta para activar la opción *6526 cm.* (extensión de flujo predeterminada para resultados en centímetros).

Aparecerá con esto la ventana 5 de instrumentos. En esta ventana no seleccionaremos ninguna opción debido a que esta ventana configura el comportamiento lógico de los instrumentos, diseñada para configuraciones personales por lo que podemos regresar a la ventana 4 presionando F6 para movernos de una ventana a otra .

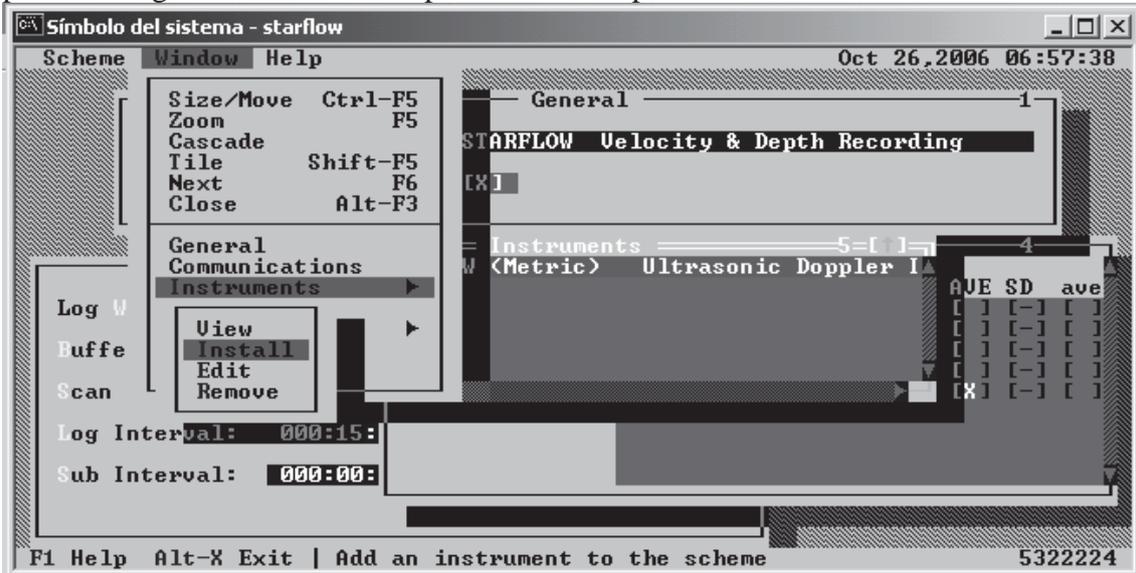


Fig. 4.j. Selección de la opción Ventana-Instrumentos-Instalar(Window-Instruments-Install)

En la ventana 4 (Figura 4.k)) aparecen ahora las nuevas variables o extensiones de gasto; la activación de estas consiste en posicionar el puntero en cada una de las casillas y presionar la barra espaciadora. De estas opciones se selecciona las casillas: *MAX* (Valor máximo registrado en Log-Interval) , *MIN* (Valor mínimo en Log-Interval), *AVE* (Promedio en Log-Interval) y *ave* (Promedio acumulado) de las variables *FLWRT* (Gasto promedio) , *Veloc.* (Velocidad) , *Depth* (Profundidad), *Area* y *FLOW* (Gasto total) .

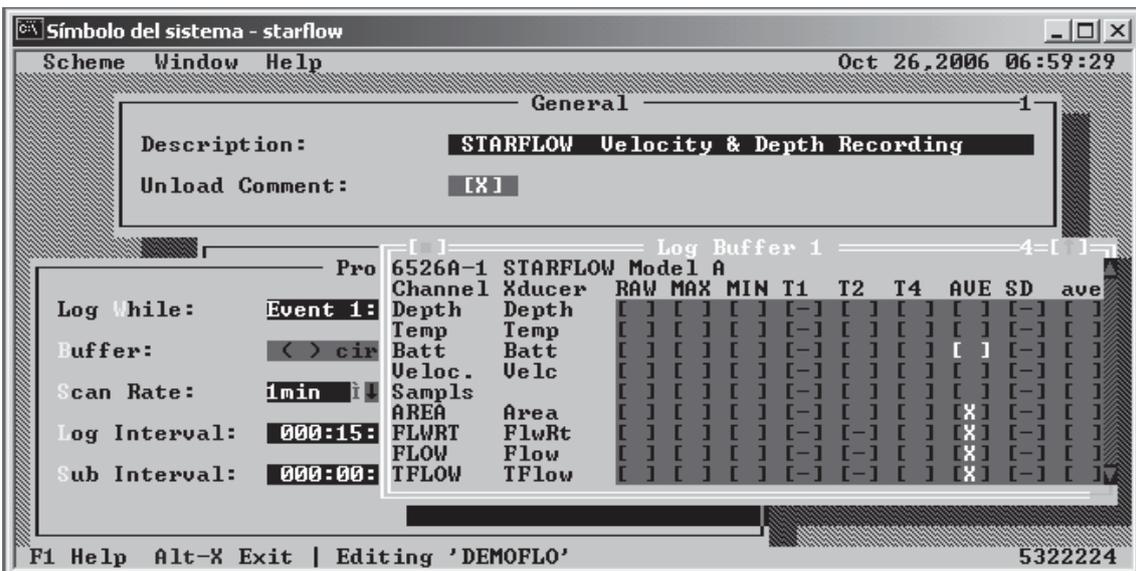


Fig. 4.k. Ventana de variables a grabar, con opciones de gasto .

Antes de comenzar la prueba el Starflow necesitará un área con la cual calcular el gasto, esta se proporciona creando un archivo de texto extensión *.XAC* con las coordenadas en pares separadas por espacios.

Este archivo se debe crear en un procesador de texto como el block de notas del sistema Windows tecleando las coordenadas en pares separadas por espacios. El Starflow reconoce las coordenadas de izquierda a derecha siendo el primer par el punto más alto y más cercano, los pares subsecuentes son tantos como se deseen, hacia la derecha (de longitud) y profundidad debido a esto no se necesitan signos negativos.

Ejemplo:

```
0 0
0 450
300 450
300 0
```

Estas coordenadas son dispuestas para el canal rectangular de profundidad máxima 450 mm y ancho 300mm.

Una vez creado el archivo se coloca en la carpeta Schemes de instalación del Starflow para después modificarle en su extensión a *.XAC*.

Una vez realizado este procedimiento. En la opción *Window* de la barra de menú se selecciona la ultima opción *Area Rating Table* (Tabla de aforo de área), así se activa la ventana que se muestran en la figura 4.1.

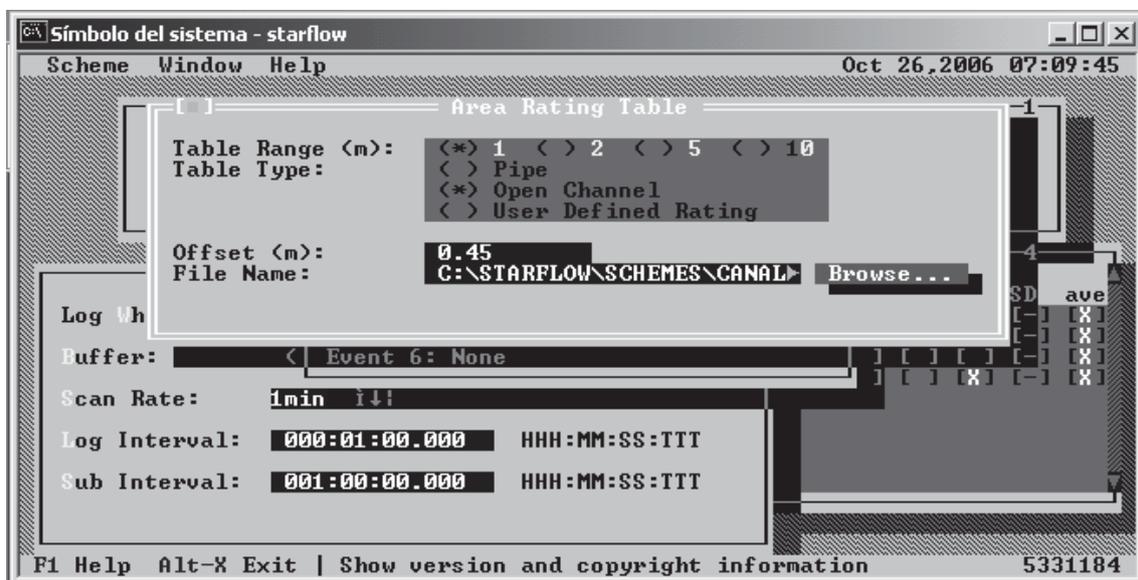


Figura 4.1. Configuración de archivo creado tipo *.XAC*.

El seleccionar el número “1” significa que el tirante máximo del canal es menor a un metro de profundidad, “*Open Chanel*” que es un canal abierto y “*Offset (m)* a .45” que el tirante máximo esperado será de 45 cm. El archivo de extensión *.XAC* se coloca en la carpeta de *Schemes* del Starflow. La ruta del archivo se teclea por completo

teniendo en cuenta que el *Browse* no funciona si estamos usando Windows como sistema operativo.

Para guardar los cambios con el nombre nuevo de esquema que elijamos (se recomienda hasta 5 caracteres) se selecciona de la barra de menú la opción *Scheme* y sucesivamente *Save as* (Figura 4.m).

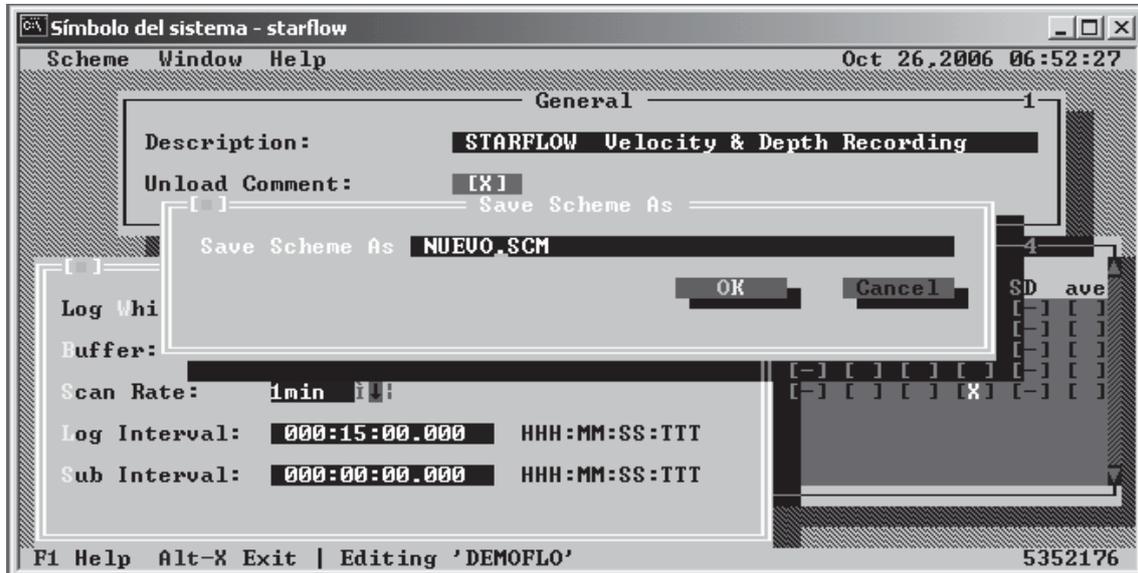


Fig. 4.m. Ventana Starflow para guardar nuevos esquemas.

Una vez realizados estos pasos aparece en la ventana principal del programa, el esquema que acabamos de configurar, así se procede a la instalación del aparato en el canal seleccionado.

Una vez instalado en la ventana de inicio se selecciona *Load Starflow With a Scheme*, activando esta opción el Starflow revisará el estado de sus componentes para su correcto funcionamiento por lo que aparecerán algunas instrucciones internas del Starflow en la pantalla del DOS, este procedimiento tarda unos segundos. Si no existe ningún problema en la pantalla aparecerá el mensaje *No Errors Detected OK*, en ese momento el esquema ha comenzado a operar. Para visualizarlo seleccionemos la opción de la ventana principal *Scheme Test Mode*.

Para detener la prueba simplemente se tecléa *Alt+X* y se descarga los datos recolectados con *Unload Data From Starflow* en la ventana principal y aparecerá un cuadro de texto que permite ingresar una breve descripción.

El Starflow cuenta con opciones para visualizar datos sin embargo se recomienda utilizar una de ellas para convertir los datos de formato Lotus a Excel de la siguiente manera.

Primero se crea un archivo tipo lotus con la opción del menú principal *Report Editor*, en esta aparecen dos archivos automáticamente creados por el programa. Presionando la tecla **Insert** aparecerá una ventana (Figura 4.n) con varias opciones entre ellas *Report* en la cual se selecciona *Lotus File* y después *OK*.

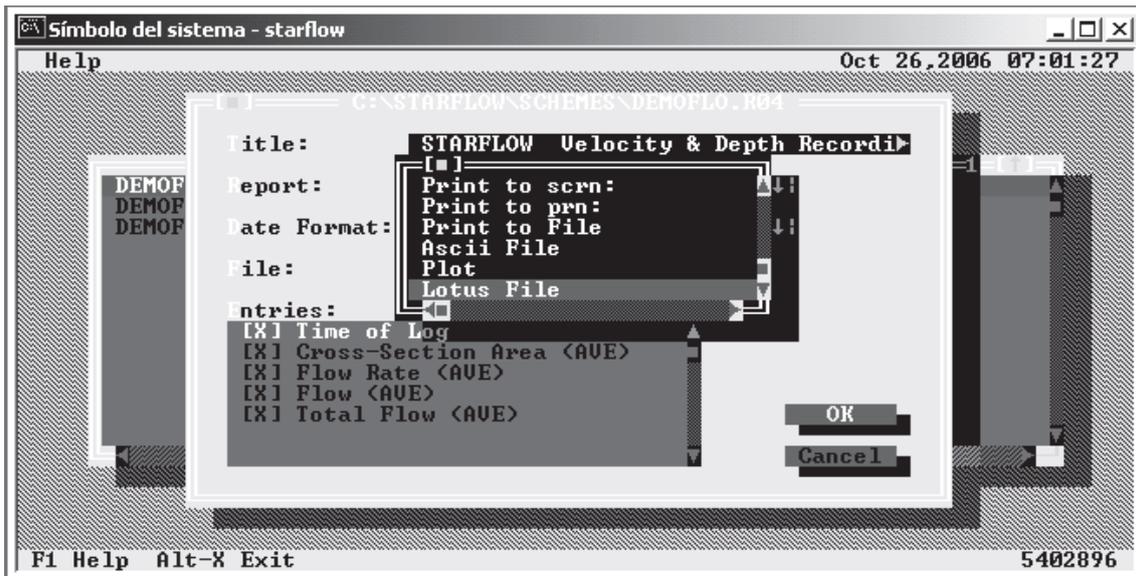


Fig.4.n. Visualización de la creación de un archivo tipo Lotus.

Por ultimo se regresa a la ventana principal y activa *Display an Unload File* en la que se selecciona de la lista desplegable el archivo lotus y *OK*. Aunque no aparece nada en la pantalla este paso es indispensable ya que sin este no se crearía un archivo con el nombre del esquema y extensión *.WK1*. Este archivo aparece en la carpeta de *Schemes* de donde se activa con Excel como archivo tipo Lotus 1-2-3.

5.-CONDICIONES DE LOS CANALES DE PRUEBA

La verificación experimental del medidor Starflow se desarrolla en dos canales del laboratorio de Hidráulica de la UMSNH, por tanto la validación experimental del porcentaje de error se evalúa en laboratorio

5.1.-Ubicación y Sistema de Alimentación de Los Canales

El primer canal, es un canal rectangular de pendiente variable, que en adelante denominaremos CPV, el cual presenta para su alimentación y evaluación la infraestructura de la Figura 4.a. Se instala el medidor Starflow en la mitad de la totalidad de la longitud del canal.

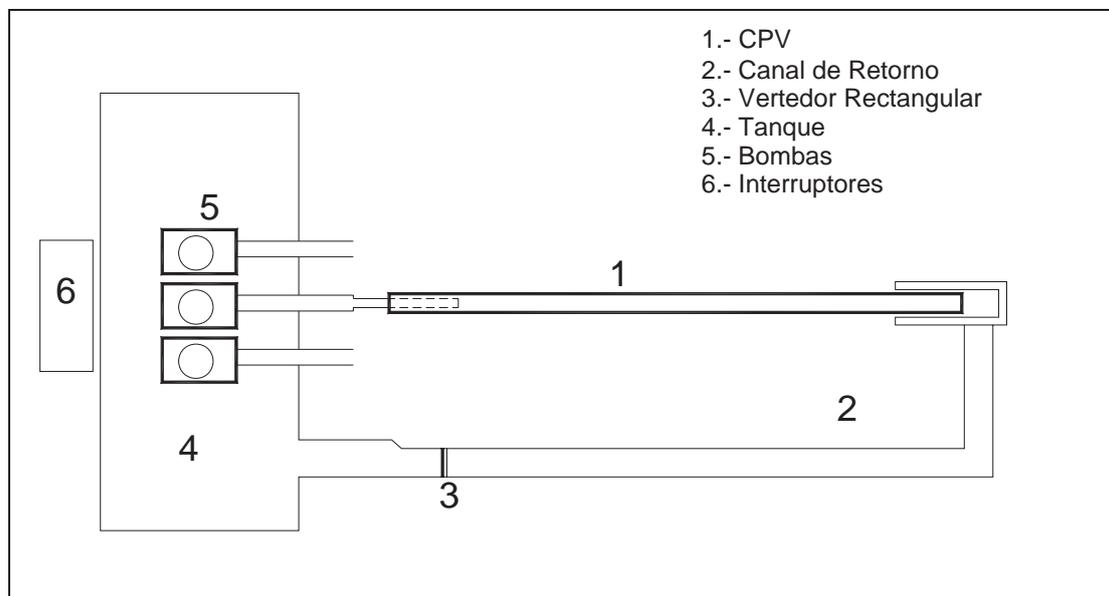


Figura 4.a Vista en planta del canal de pendiente variable y sistema de alimentación

El segundo canal, es un canal trapezoidal de pendiente fija (CT), el cuál presenta para su alimentación y evaluación la infraestructura de la Figura 4.b. Se instala el medidor Starflow en el tramo de canal, 10 veces el fondo, aguas abajo del sifón invertido.

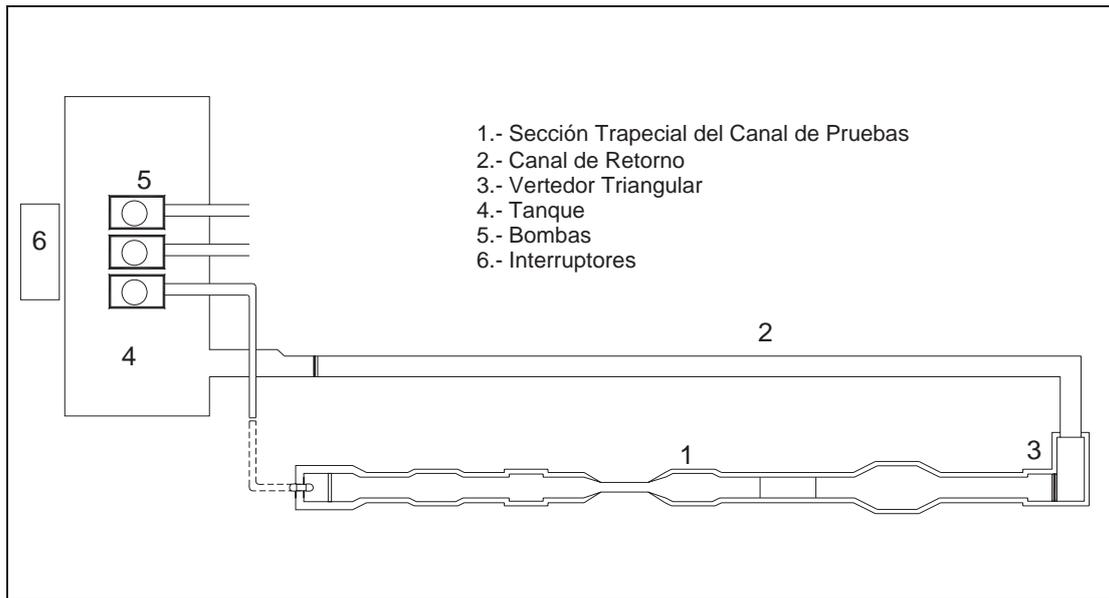


Figura 4.b Vista en planta del canal trapecoidal y sistema de alimentación

5.2.-Características Físicas e Hidráulicas de los Canales de Prueba

5.2.1.- Canal Rectangular de Pendiente Variable (C.P.V.)

Las características físicas del canal rectangular de pendiente variable se presentan en la Figura 4.c y en la Tabla 4.a.

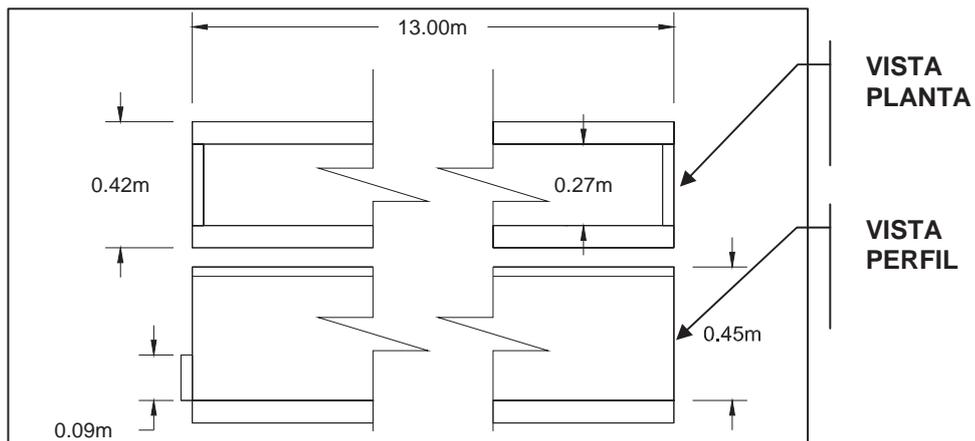


Figura 4.c Vista de planta y perfil del canal rectangular de pendiente variable

Descripción característica	unidad	valor
Ancho canal	m	0.27
Altura canal	m	0.45
Rango de pendientes		0.0000 - 0.0062
Largo canal	m	13
Capacidad máxima volumétrica	lt/s	50
Altura de pantalla aguas abajo del canal	m	0.09

Tabla 4.a Características físicas del canal rectangular

De las pruebas preliminares además de los datos de velocidad rango de gastos y pendientes también se calcularon los coeficientes “C” de Chezy y “n” de Manning (Tabla 4.b).

Pendiente	Coficiente “C” Chezy	Coficiente “n” Manning
Promedio (S=0.0001)	124.570	0.0059
Promedio(S=0.0033 - 0.0062)	22.551	0.0328

Tabla 4.b Coeficientes de rugosidad del CPV

5.2.2.- Canal Trapezoidal

Para las pruebas en canal trapezoidal se selecciono un tramo del canal de pruebas. Las características físicas del tramo se presentan a continuación en la Tabla 4.c y en la Figura 4.d.

Descripción de la característica	Unidad	Valor
Ancho de base del canal	m	0.49
Altura del canal	m	0.50
Rango de Pendientes		
Largo	m	5.0
Capacidad máxima volumétrica	lt/s	80

Tabla 4.c Características físicas del canal trapezoidal

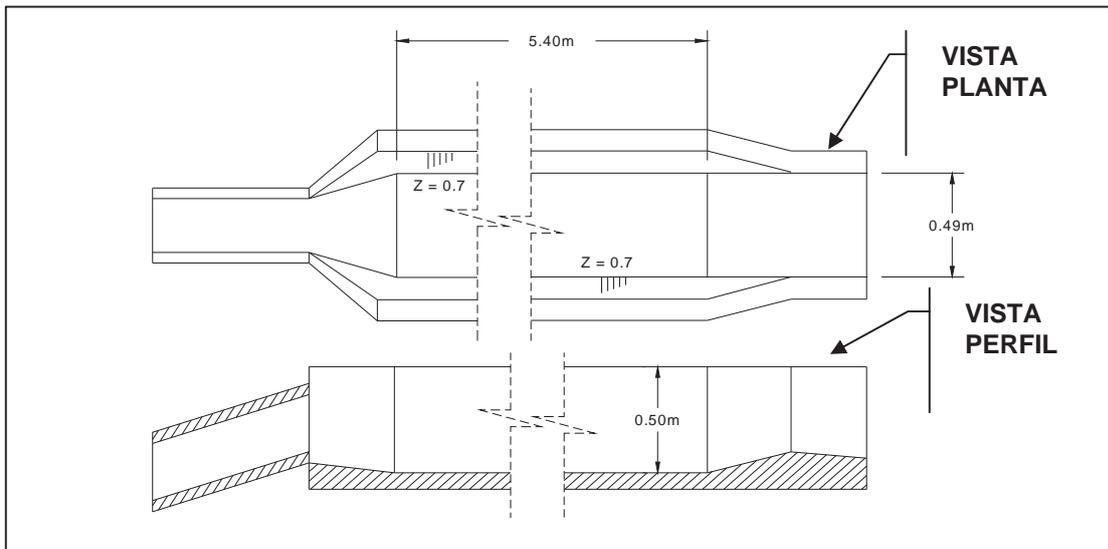


Figura 4.d Vista de planta y perfil del tramo de canal trapecoidal, después del sifón invertido

5.3.- Funcionamiento Hidráulico de Canales de Prueba

Como se muestra en la Figura 4.e el CPV cuenta con varios dispositivos que le permiten variar condiciones tales como la pendiente por medio de un elevador manual (numero 2), una pantalla de altura variable (numero 1), una válvula de compuerta que en nuestro caso fungió como reguladora de gasto (numero 5), dos disipadores de energía construidos especialmente para las pruebas del medidor Starflow (numero 3) y un tanque de descarga (número 4). Los disipadores de energía (numero 3) permiten reducir la velocidad de salida del flujo, así como reducir la turbulencia de salida.

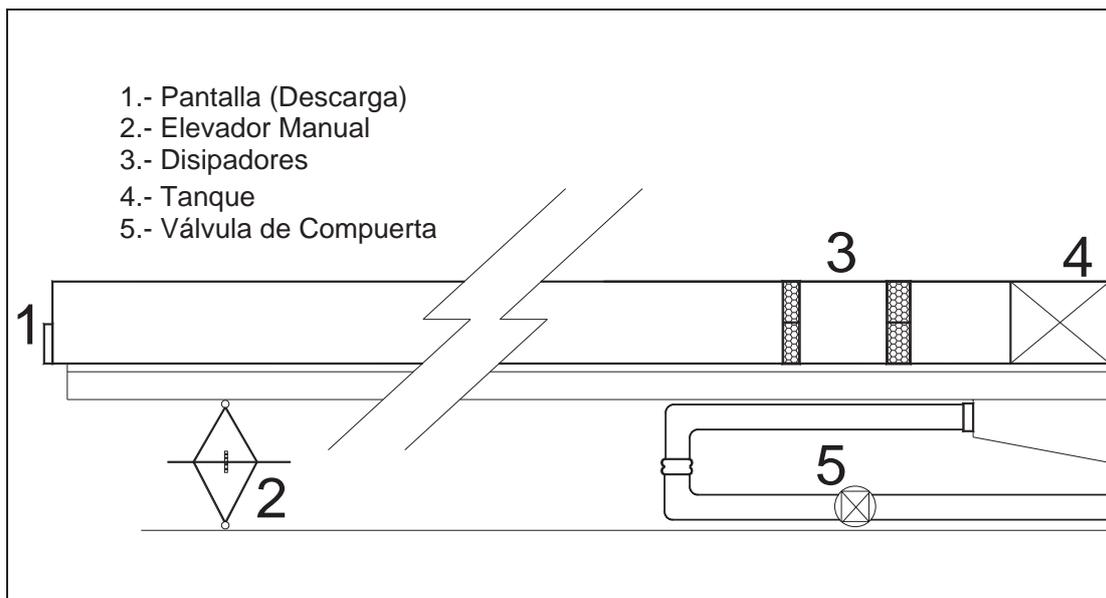


Figura 4.e Funcionamiento hidráulico canal rectangular, CPV

Para el caso del canal trapezoidal, su funcionamiento hidráulico es de naturaleza fija por su construcción de concreto armado, lo cual no permite variar condiciones exceptuando el flujo que se regula por medio de una válvula de compuerta. Esta válvula de compuerta permitió la variación de gastos para las diferentes pruebas en el tramo de sección trapezoidal del canal de pruebas o de flujo lento.

5.4.- Instrumentación de los Canales

Después de instalar el medidor Starflow en el canal, de acuerdo a las condiciones de instalación y/o condiciones de la prueba a desarrollar, se hace necesario colocar instrumentación complementaria en las cercanías del medidor, con la finalidad de obtener las medidas del tirante y la velocidad de forma directa, medidas que en adelante denominaremos *mediciones analíticas*.

Se instalaron y fijaron dos limnómetros aguas arriba y aguas bajo del medidor, separados entre ellos 3 m. Estos limnómetros con precisión al milímetro, se utilizaron para medir el tirante del flujo en el canal. El tirante en cada punto de medición, es la diferencia de la lectura inicial en el fondo del canal y la lectura de la superficie libre. El tirante final será la media de ambos tirantes obtenidos para cada limnómetro, como se ilustra en la formula 4.1:

$$\begin{aligned}
 y_1 &= \text{lectura limnómetro fondo}_1 - \text{lectura limnómetro superficie agua}_1 \\
 y_2 &= \text{lectura limnómetro fondo}_2 - \text{lectura limnómetro superficie agua}_2 \\
 y &= \frac{y_1 + y_2}{2}
 \end{aligned}
 \tag{4.1}$$

En la sección aguas a arriba del medidor en CPV donde se ubica un limnómetro se fijo la punta del tubo de Prandtl. La punta del tubo de Prandtl se colocó en cada prueba a una profundidad de 0.4, 0.6 y 0.8 del tirante. El tubo de Prandtl conectado a un manómetro se utilizó para medir la velocidad media del flujo en el canal rectangular, tomando como velocidad media del flujo en el canal. Esta es obtenida con la media de las velocidades puntuales a profundidad de 0.4, 0.6 y 0.8 del tirante, de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$\begin{aligned}
 V_{0.4} &= \sqrt{2g(\text{lectura Pr adtl 1} - \text{lectura Pr adtl 2})}, \\
 V_{0.6} &= \sqrt{2g(\text{lectura Pr adtl 1} - \text{lectura Pr adtl 2})}, \\
 V_{0.8} &= \sqrt{2g(\text{lectura Pr adtl 1} - \text{lectura Pr adtl 2})} \\
 V_m &= \frac{V_{0.4} + 2V_{0.6} + V_{0.8}}{4}
 \end{aligned}
 \tag{4.2}$$

Donde la velocidad puntual a profundidades de 0.4, 0.6 y 0.8 del tirante, se obtienen en base a las dos lecturas del tubo de Prandtl. El coeficiente C depende del diseño del tubo, que en nuestro caso C = .28 obtenido de pruebas comparativas de vertedor rectangular vs. Prandtl, con la formula para pérdida de carga para orificios del libro: Ranald V. Giles (1994):

$$\text{Perdida de carga} = \left(\frac{1}{C^2} - 1 \right) \frac{V}{2g} \text{ Formula para perdida de carga en orificios}$$

Donde la velocidad puntual a profundidades de 0.4, 0.6 y 0.8 del tirante, se obtienen en base a las dos lecturas del manómetro conectado al tubo de Prandtl.

En el caso del canal rectangular el los limnómetros se ubicaron a 4.20m y 7.20m aguas arriba de la descarga. Para canal trapecial los limnómetros se colocaron a 1.50m y 3.0m aguas arriba del cambio de sección trapecial-rectangular donde se instalo el Starflow.

Los limnómetros se fijaron en una armazón que permitía tener fijo los instrumentos en el canal, para el manómetro se construyo una armazón donde se fijaba el instrumento, el que se verificó su nivelación vertical y horizontal antes de fijarla al suelo.

5.5.- Verificación de los Vertedores de Pared Delgada

Para contrastar el gasto que reporta el medidor Starflow, es que se hace uso de los vertedores ubicados aguas abajo de los canales de prueba.

5.5.1.- Canal Rectangular

Se llevó a cabo la revisión de las condiciones físicas y de medición de un vertedor rectangular de pared delgada, ubicado aguas abajo del canal rectangular de pendiente variable (elemento 3 de Figura 4.1)

Este vertedor de pared delgada de cresta rectangular se encuentra en el canal de retorno, aguas abajo del canal rectangular de pendiente variable donde se instala el medidor Starflow, del cual se desarrolla su validación experimental. Vertedor que se utilizará para aforar los gastos que fluyen por el canal rectangular (CPV). Para este vertedor la determinación del gasto, se hace uso de la ecuación de vertedores rectangulares y la ecuación de Rehbock para μ ya que se comprueba que es la que mejor se ajusta a las condiciones físicas del vertedor.

$$Q = h^{2/3} 1.859\mu \dots \quad 4.3$$

Esta ecuación fue tomada del libro de Sotelo (1980)¹. De la ecuación general para vertedor tipo rectangular de pared delgada:

$$Q = \frac{2}{3} \sqrt{2g} \mu b h^{3/2}$$

De esta ecuación se agrupan los valores conocidos para obtener un solo coeficiente, expresado de la siguiente manera:

¹ Gilberto Sotelo Avila, Hidráulica General 1980. Pag. 243-246.

$$C = \frac{2}{3} \sqrt{2g\mu}$$

Subsecuentemente se puede escribir la ecuación general simplificada:

$$Q = C b h^{3/2}$$

Para después expresar el coeficiente C en función de μ :

$$C = \frac{2}{3} \sqrt{2g\mu} = 2.952\mu$$

Con esto lo que resta es conocer la variable μ ; que en nuestro caso se ajusto a la ecuación de Rehbock que se muestra a continuación:

$$\mu = \left[0.6035 + 0.813 \left(\frac{h + 0.0011}{w} \right) \right] \left[1 + \frac{0.0011}{h} \right]^{3/2} \quad \text{Ecuación de Rehbock.}$$

La ecuación de Rehbock esta limitada por los siguientes puntos:

- $0.01\text{m} \leq h \leq 0.80\text{m}$. En nuestro caso se cumple para todos los gastos.
- $b \geq 0.30\text{m}$ En nuestro caso cumple que $0.60\text{m} \geq 0.30\text{m}$
- $w \geq 0.06\text{m}$ En nuestro caso: $0.45\text{m} \geq 0.06\text{m}$
- $h/w \leq 1$ Se cumple para todos los gastos

Al cumplir todas estas condiciones que se revisaron para todos los gastos de todas las pruebas, se afirma que la ecuación 4.3 antes mencionada es aceptable para las mediciones de gasto del CPV en el vertedor rectangular de pared delgada.

5.5.2.- Canal Trapezoidal

La revisión de las condiciones físicas y de medición de un *vertedor triangular* de pared delgada, ubicado aguas abajo del canal trapezoidal de pendiente fija (elemento 3 de Figura 4.2), se realizó en la “Determinación experimental del coeficiente de descarga en una compuerta auto operante tipo AMIL”. Donde se concluyó que el vertedor de pared delgada triangular cumple la totalidad de las condiciones físicas y de medición por lo que es utilizado con confianza como aforador de los gastos que descargan aguas abajo del canal trapezoidal. Luego la ecuación para la determinación el gasto es la siguiente:

$$Q = 1.3867 (\text{lectura carga vertedor})^{2.5}$$

Este vertedor de pared delgada triangular se encuentra instalado al final del canal trapezoidal donde se instala el medidor Starflow, del cual se desarrolla su validación experimental. Vertedor que se utilizará para aforar los gastos que fluyen por dicho canal.

Las consideraciones a tomar en cuenta sobre este vertedor se recopilaron de dos fuentes: Gilberto Sotelo, Hidráulica General (1980) y Octavio Trejo, Apuntes (1964).

De Sotelo:

- Los vertedor rectangulares se recomiendan para el aforo de gastos inferiores a 30 lt/s y cargas (h) superiores a 6cm y hasta de 60cm.
- Su precisión es mejor que la rectangular, para gastos pequeños e incluso para gastos comprendidos entre 40 y 300 lt/s.

En nuestro caso todas la cargas de posición (h) se encuentran por encima de 6cm y debajo de 60cm. Siendo además el gasto máximo predeterminado de 40 lt/s, por lo que se ajusta con exactitud.

De Trejo:

- El vertedor debe colocarse en forma perpendicular al flujo.
- La cresta del vertedor debe ser recta y afilada, sin contracciones laterales y en descarga libre.
- Inexistencia de obstáculos aguas abajo del canal que provoquen ahogamiento.
- La carga de posición debe tomarse mínimo a 4 veces “h”, aguas arriba del vertedor
- La influencia del ancho del canal esta definida por dos situaciones
 1. Si $B \geq 5h$: no tendrá influencia en el coeficiente “C”
 2. Si $B < 5h$: tendrá influencia en el coeficiente “C”

De estas condiciones mencionadas para nuestro caso, se cumple que:

- El vertedor esta colocado en forma perpendicular al flujo
- La cresta esta afilada, sin contracciones y descarga libre en todos los gastos
- Inexistencia de obstáculos
- La carga de posición se toma en el Limnómetro ubicado a 2.0m, y siendo $h=0.24m$ (de gasto máximo) se tiene que: $4(0.24)m = .96m < 2.0m$, por lo tanto cumple la condición.
- “B”, en nuestro caso es igual a 1.20m. $h=0.24m$. $5h= 5(.24)=1.20m$; $1.20 \geq 1.20$, y por lo tanto cumple la condición.

Al verificar todas estas condiciones, se consideró el uso de la ecuación para vertedores triangulares:

$$Q = 8/15 \operatorname{tg} \alpha C \sqrt{2g} h^{5/2}$$

Para nuestro caso, siendo $h > 0.14 m$: $C = .587$ utilizando tabla de pág. 237 del libro del Ing. Trejo (1964)., se simplifica la ecuación.

$$Q = 8/15 \operatorname{tg} 45^\circ 0.587 \sqrt{2g} h^{5/2} \therefore$$

$$Q = 1.3867 h^{5/2} \quad \text{Ecuación 4.4}$$

5.6.- Condiciones Iniciales de las Pruebas

5.6.1.- Canal Rectangular (C.P.V.)

Se mantuvieron las mismas condiciones iniciales para las pruebas de tiempo corto y de tiempo largo en el CPV.

La primera condición que se verificó fue la pendiente. Después de identificar la pendiente que pide la prueba, se comprobó con un flexómetro la pendiente física que presenta el canal rectangular, si este no se cumplía se manipulaba el elevador manual del canal (numero 2, Figura 4.e) hasta lograr la pendiente indicada en la prueba. Para la determinación de la pendiente física, se tomaron dos puntos de referencia, el primero a 1.8 metros de la descarga y el segundo a 3.6 metros del tanque de descarga.

Otra condición inicial que se verificó es la altura inicial de los dos limnímetros; instrumentos que se fijaron a la estructura del canal, donde altura inicial del fondo es la referencia para determinar el tirante del flujo. Dicha altura inicial al mantenerse fijo el limnómetro, es constante, para todas las pruebas del canal rectangular. Para garantizar una altura de flujo que pudiese ser medida con facilidad se fijo la pantalla al final de canal a una altura de 0.9 m. (numero 1, Figura 4.e).

El sistema del tubo de Prandtl para medir la velocidad se revisó para cada sesión de pruebas verificando, la inexistencia de fugas, burbujas y la sensibilidad en la columna de agua en el manómetro al variar la posición.

El procedimiento para igualar el gasto al requerido por la prueba, consistió en fijar los limnímetros a una altura conocida que corresponde al gasto que se pretendía igualar. Es importante hacer notar que las pruebas fueron realizadas con gastos cercanos a los preseleccionados debido a la cantidad de variables a controlar y el tiempo que se lleva controlar todas estas variables para una sola prueba.

5.6.2.- Canal Trapezoidal

En el caso del canal trapecial las condiciones variables fueron las derivadas del cambio de gasto como el tirante y la velocidad.

Las condiciones fijas consistieron en tomar dos puntos en el fondo del canal donde colocar los limnímetros y registrar la profundidad del flujo.

5.7.-Mediciones Controladas

Denominaremos mediciones controladas (o mediciones analíticas) a las mediciones de las variables tirantes, velocidad y gasto, con las que compararemos las mediciones de las mismas variables, obtenidas con el medidor Starflow.

Para obtener la medición controlada del tirante se hace uso de la ecuación 4.1.

Para obtener la medición controlada de la velocidad media, se puede obtener por 2 caminos. La primera es obtenida de forma casi directa, con las mediciones del tubo de Prandtl, ecuación 4.2. La segunda es obtenida con las mediciones del gasto Q dado por el vertedor triangular (ecuación 4.3) o rectangular (ecuación 4.4) y haciendo uso de la ecuación de continuidad:

$$V = \frac{Q}{A} \quad 4.5$$

Para obtener la medición controlada del gasto, se puede obtener también por 2 caminos. La primera es obtenida de forma directa, con las mediciones en los vertedores de las ecuaciones 4.3 y 4.4. La segunda es obtenida con la ecuación de continuidad (ecuación 4.5) y las velocidades medias dadas por el tubo de Prandtl.

5.8.-Procedimiento de Medición y Captura de Datos

- **Tirante:** Para la determinación del tirante en el CPV se utilizaron dos limnómetros con aproximación al milímetro para registrar las diferencias de altura de la plantilla del canal y el nivel máximo. Estos dispositivos fueron atornillados al canal para así poder tomar siempre una sola lectura inicial al fondo del canal y restarla con la lectura del nivel de agua máximo para cada prueba. Para cada prueba se tomó la medida en los dos limnómetros, se registro en la bitácora y posteriormente se ingreso en la tabla de cálculo, para obtener un promedio (tabla 9.1. de anexo). Para el caso del canal trapecial se tomaron lecturas por igual, de dos limnómetros, se registraron los valores en bitácora y se ingresaron en la hoja de calculo para promediarlas.
- **Gasto:** Para garantizar que el gasto en CPV sea lo más cercano posible al de la prueba se colocan los dos limnómetros en un tirante conocido. Este tirante se selecciona de una tabla de relación: Gasto en Vertedero vs. Tirante en CPV. Debido a que no se conoce la exactitud de esta tabla, se toma como medida correcta la que se presente quince minutos, después de iniciada la prueba en el limnómetro del vertedero. Para calcular el gasto se utiliza la ecuación de vertedero rectangular y triangular (ecuaciones 4.3 y 4.4). En la hoja de cálculo previamente programada (tabla 9.2 de anexo) se ingresan los valores tomados de la altura de vertido, que se obtuvieron con los limnómetros instalados en cada uno de los vertedores.
- **Velocidad:** Para la toma de datos de velocidad, se registraron en bitácora las diferencias de presión estática y dinámica para tres puntos del flujo. Esto se realizó colocando el tubo de Prandtl hacia aguas arriba, con las condiciones de la formula 4.2 antes mencionada. Estos datos se ingresaron en la tabla de Prandtl del anexo (tabla 9.3).

6.-PLAN DE PRUEBAS

6.1.- Procedimiento de Selección de Gastos y Pendientes a Reproducir

En la determinación del funcionamiento hidráulico del canal de pendiente variable se realizaron pruebas de diferentes de gastos en primera etapa y de pendientes permisibles que se encontraran dentro de las condiciones de instalación recomendadas.

En primera instancia se intento crear una ecuación para el canal rectangular con datos de aforo volumétrico. Esta se abandono porque las características físicas del canal hacían muy aparatosa (Fotografía 6.c) y complicada la operación de un tanque volumétrico de 200 litros (Fotografías 6.a y 6.b) ubicado al pie de la descarga. Otras propuestas subsecuentes como la posibilidad de instalar tanques de mayor capacidad volumétrica presentaron estas mismas dificultades. La principal limitación de está propuesta fue que no se podía aforar el canal a su máxima capacidad por el espacio reducido disponible para instalar tanques volumétricos, con lo cual la grafica no representaría la totalidad de gastos o pendientes.



Foto. 6a Tanque volumétrico con graduaciones @ 25 litros



Foto. 6b. Tanque volumétrico de 200 litros



Foto.6c. Vista superior de la descarga, lugar donde se coloco el tanque de 200 litros.

Al verse imposibilitada la utilización de una grafica tirante vs. gasto con datos volumétricos se opto por la utilización de un vertedor de tipo cresta rectangular que cumple, según las pruebas realizadas la ecuación de Rehbock.

Este vertedor se encuentra aguas abajo de la descarga del canal de pendiente variable. El tirante sobre la cresta se puede medir por medio de un limnómetro con aproximación al milímetro.

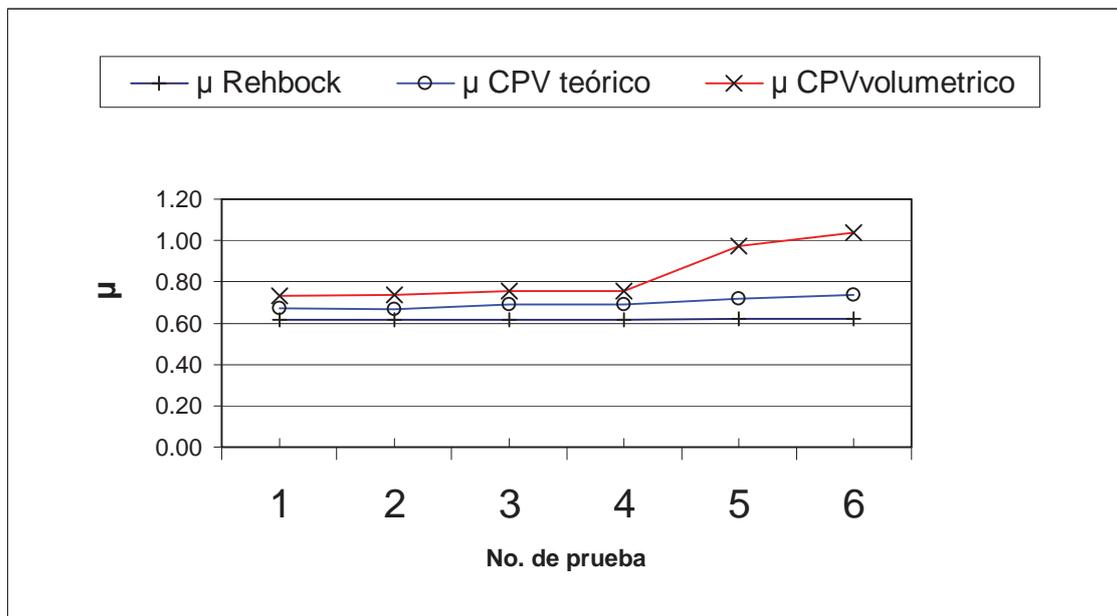
6.1.1.-Calibración de la Ecuación de Rehbock y Coeficiente μ para Gasto del Vertedor Rectangular

Para poder utilizar la ecuación de Rehbock en este vertedor se hizo la grafica del coeficiente μ (factor de la ecuación) contra el gasto volumétrico, en C.P.V. y de vertedor dando como resultado la gráfica 6.a.

En estas graficas el factor μ se calculo derivado de cada uno de los valores de gasto obtenidos volumétrica mente y con la ecuación de Rehbock en el canal de retorno y CPV.

Como podemos observar de las graficas el C.P.V. y el CR. guardan una correlación mayor en comparación con el aforo volumétrico, que se distancia al final de las pruebas. Podemos observar que la graficas que se ajustan en mayor medida y por sobre todo el rango de gastos son las de la ecuación de Rehbock en el canal de retorno y CPV por lo que la ecuación tiene un grado aceptable para ser considerada como valor real de gasto aforado para cada una de las pruebas.

La toma de datos para el plan de pruebas se hizo en el canal de retorno y no en el CPV porque esta se invalida cuando la plantilla aguas arriba del vertedor no es horizontal. El CPV en estas pruebas permaneció con pendiente nula y se probaron gastos en orden ascendente.



Gráfica 6.a. Gráfica comparativa de coeficientes μ .

En las tablas 6.a. y 6.b, se muestran los resultados obtenidos de las pruebas .

Ecuación Rehbock		CPV teórico usando gasto de vertedor Rehbock		CPV volumétrico usando Q volumétrico Q volumétrico		CPV real usando Q calculado en CPV	
μ	Q (m3/s)	μ	Q (m3/s)	μ	Q (m3/s)	μ	Q (m3/s)
0.6151	0.0083	0.6700	0.0089	0.7323	0.0094	0.9627	0.0124
0.6153	0.0090	0.6689	0.0086	0.7370	0.0318	0.0135	1.0136
0.6167	0.0143	0.6893	0.0145	0.7546	0.0263	0.0198	0.9396
0.6177	0.0173	0.6927	0.0156	0.7566	0.0171	0.0171	0.7566
0.6204	0.0256	0.7187	0.0251	0.9742	0.0206	0.0263	0.7546
0.6225	0.0323	0.7344	0.0317	1.0371	0.0138	0.0318	0.7370

Tabla 6.a. Comparación numérica de valores teóricos μ de Rehbock, contra valores μ obtenidos de diferentes métodos.

PRUEBAS DE GASTO VOLUMETRICO UTILIZANDO TANQUE DE 200 LITROS							
No	Carga total en CPV cm.	Carga Inicial en CPV cm.	Tirante cm.	Tanque Volumétrico Tirante cm.	Volumen lts	Tiempo seg.	Gasto Aforado Voluméricamente Qav M3/s
1	31.65	23.37	8.28	-----.	180	9.8	0.0184
2	31.65	23.37	8.28	-----.	180	8.87	0.0203
3	31.65	23.37	8.28	-----.	180	8.64	0.0208
4	29.45	23.37	6.08	-----.	180	14.37	0.0125
5	29.45	23.37	6.08	-----.	180	12.86	0.0140
6	29.45	23.37	6.08	-----.	180	13.2	0.0136
7	29.45	23.37	6.08	-----.	180	13.15	0.0137
8	36.7	23.37	13.33	-----.	180	5.53	0.0325
9	36.7	23.37	13.33	-----.	180	5.77	0.0312
10	36.7	23.37	13.33	-----.	180	5.7	0.0316
11	29.32	23.37	5.95	-----.	180	20.25	0.0089
12	29.32	23.37	5.95	-----.	180	19.2	0.0094
13	29.32	23.37	5.95	-----.	180	18.86	0.0095
14	29.32	23.37	5.95	-----.	180	19.3	0.0093
15	32.03	23.37	8.66	-----.	180	10.9	0.0165
16	32.03	23.37	8.66	-----.	180	10.42	0.0173
17	32.03	23.37	8.66	-----.	180	10.31	0.0175
18	34.95	23.37	11.58	-----.	180	6.67	0.0270
19	34.95	23.37	11.58	-----.	180	7.15	0.0252
20	34.95	23.37	11.58	-----.	180	6.7	0.0269

Tabla 6b. En este formato se ingresaron los valores obtenidos de pruebas volumétricas.

Con las conclusiones de resultados obtenidos de las tablas anteriores se procedió a la utilización de la ecuación de Rehbock para el CPV por medio de una hoja de cálculo (Tabla 9.2 del anexo). En esta hoja de cálculo el factor μ se calcula y valida para cada valor único, ajustando así para cada condición única el resultado.

6.1.2.- Selección de Gastos y Pendientes

Una vez programada la hoja de cálculo, se procedió el trabajo en laboratorio de identificación de gastos y pendientes permisibles en CPV. Para su realización se le dio mantenimiento al canal, en sellado de fugas y adecuaciones tales como la construcción de dos disipadores de energía, que permitieran que un rango mayor de gasto y pendientes ocurrieran dentro de las condiciones recomendadas.

Para lograr esto, se realizó una serie de pruebas en el CPV utilizando dos disipadores, combinando varios agregados pétreos de diferentes tamaños y en diferentes lugares dentro del CPV. En este procedimiento se probaron primero gastos máximos sin pendientes y después pendientes máximas con gastos máximos permisibles dando como resultado la tabla 6.c.

➤ **Prueba A:**

Esta prueba se hizo con el disipador E10 con pendiente cero ubicándolo a la salida del tanque, utilizando grava y sin altura de pantalla.

➤ **Prueba B:**

Esta prueba se hizo con las mismas características de A excepto por la ubicación que esta vez se colocó a 60cm del tanque. No se presentó oleaje pero el gasto es muy pequeño.

➤ **Prueba C:**

Esta prueba se hizo con el disipador E15 con pendiente cero ubicándolo a la salida del tanque, utilizando grava y sin altura de pantalla. No se presenta oleaje aunque el disipador causa una pérdida muy grande en la altura lo que nos deja muy poco rango de gastos.

➤ **Prueba D:**

Esta prueba se hizo con el disipador E15 con pendiente cero ubicándolo a la salida del tanque, utilizando greña y sin altura de pantalla. No se presenta oleaje.

➤ **Prueba E:**

Esta prueba a diferencia de las otras se realizó sin ningún material, utilizando solo los disipadores vacíos espaciados 10 cm uno del otro y colocados a la salida del tanque. En esta prueba se observó que el flujo se regula de buena manera permitiendo reducir el oleaje, sin embargo en la superficie del agua se presenta una irregularidad pequeña en la superficie del agua.

Prueba con Disipadores en C.P.V. con Pendiente Cte. y Gasto Cte.								
Prueba	Q (m ³ /s)	A (m ²)	B (m)	Tirante Medio (m)	Vel (m/s)	F	R	S %
A	0.01710	0.031	0.30	0.10	0.549	0.544	6.E+04	0.01%
B	0.00916	0.022	0.30	0.07	0.409	0.477	3.E+04	0.01%
C	0.01558	0.029	0.30	0.10	0.546	0.565	5.E+04	0.01%
D	0.02110	0.023	0.30	0.08	0.913	1.051	7.E+04	0.01%
E	0.04678	0.044	0.30	0.15	1.062	0.885	2.E+05	0.01%

Tabla 6.c. Resultados numéricos de pruebas en C.P.V. para valuación de características hidráulicas.

La mejor de las pruebas anteriores es claramente la “prueba E” porque permite alcanzar una velocidad un poco mayor a 1 m/s y utilizándole podría manipularse favorablemente al aumentar la pendiente, además de que, como se observó en la práctica el tirante es mayor si se le compara con las otras pruebas.

6.1.3.-Identificación de Tipo de Régimen

De las características de flujo de estos gastos nos compete saber si se encuentran los gastos seleccionados dentro flujo laminar. El hecho de que alguno de estos estuviera fuera de dicha característica implicaría errores mayores a los señalados en el manual Starflow. El manual del Starflow pone especial atención en este aspecto, por lo que se decidió evaluar esta condición con el número de Reynolds haciendo un manejo de los datos recolectados con los limnómetros y vertedero rectangular que se presentan en la tabla 6.d, con los siguientes resultados:

CPV CON ALTURA DE PANTALLA 9 cm							
Q (m ³ /s)	A (cm ²)	B (m)	Tirante MEDIO (m)	Vel (m/s)	F	R	S %
0.0083	0.0440	0.30	0.147	0.1888	0.157	2.E+04	0.01%
0.0090	0.0444	0.30	0.148	0.2016	0.167	2.E+04	0.01%
0.0143	0.0510	0.30	0.170	0.2800	0.217	3.E+04	0.01%
0.0173	0.0521	0.30	0.174	0.3312	0.254	4.E+04	0.01%
0.0256	0.0609	0.30	0.203	0.4200	0.298	4.E+04	0.01%
0.0323	0.0662	0.30	0.221	0.4885	0.332	4.E+04	0.01%
0.0134	0.0510	0.30	0.170	0.2636	0.204	4.E+04	0.01%
0.0139	0.0487	0.30	0.162	0.2848	0.226	4.E+04	0.09%
0.0140	0.0475	0.30	0.158	0.2936	0.236	5.E+04	0.15%
0.0140	0.0462	0.30	0.154	0.3037	0.247	5.E+04	0.28%
0.0142	0.0449	0.30	0.150	0.3155	0.260	5.E+04	0.30%
0.0144	0.0435	0.30	0.145	0.3311	0.278	5.E+04	0.37%
0.0144	0.0432	0.30	0.144	0.3321	0.279	5.E+04	0.45%
0.0144	0.0413	0.30	0.138	0.3483	0.300	5.E+04	0.53%
0.0144	0.0400	0.30	0.133	0.3609	0.316	5.E+04	0.59%
0.0413	0.0379	0.30	0.126	0.3640	0.327	1.E+05	0.66%

Tabla 6.d. Resultado numéricos de pruebas realizadas en CPV para valuación de tipo de flujo.

6.1.4.-Conclusiones

Del análisis de las pruebas anteriores se seleccionaron algunos gastos y pendientes que:

- Fueran fáciles de reproducir
- Se mantuvieran dentro del rango de *condiciones recomendadas*, de régimen laminar o en su defecto que se encontraran en un flujo estable (subcrítico: $F < 1$).
- Exentos de problemas de oleaje
- Sin líneas de corriente superficiales
- Máxima capacidad de gasto
- Máxima capacidad de pendiente (Aparición de flujos inestables y líneas de corriente en la superficie del agua)
- Permitieran evaluar el funcionamiento del Starflow en diferentes condiciones.

Los gastos y pendientes seleccionadas fueron las siguientes (tabla 6.e):

Gasto	G1= 25 lt/s	G2= 30 lt/s	G3= 35 lt/s	G4= 40 lt/s
Pendiente				
P1= 0.0001	CP1G1R0	CP1G2R0	CP1G3R0	CP1G4R0
P2= 0.033	CP2G1R0	CP2G2R0	CP2G3R0	CP2G4R0
P3= 0.062	CP3G1R0	CP3G2R0	CP3G3R0	CP3G4R0

Tabla 6.e. Gastos considerados a reproducir en la totalidad de pruebas de tiempo corto y largo en CPV. Se seleccionaron los mismos gastos para sección trapecial.

Para reproducir las diferentes pendientes se utiliza una manivela ubicada debajo del canal midiendo la diferencia de altura en relación a la horizontal por medio de un flexometro como se muestra en la fotografía 6.d.



Fotografía 6.d. Verificación de pendiente.

6.2.- Ajuste del Tubo de Prandtl

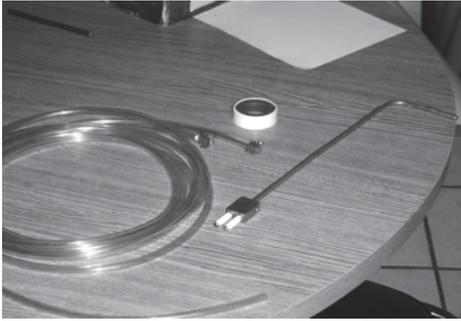
Entre los instrumentos para medir la velocidad de un fluido, figura el tubo de Prandtl, cuyo fundamento es la ecuación de Bernoulli. Este dispositivo es una combinación del tubo de Pitot y un tubo piezométrico; el de Pitot mide la presión total, el piezométrico mide la presión estática, y el tubo de Prandtl mide la diferencia entre las dos, que es la presión dinámica.

Por ser el tubo muy fino y estar la corriente en 2 prácticamente normalizada después de la perturbación en 1, se tendrá, despreciando también las pérdidas debido a que el orificio es pequeño:

Se deduce finalmente:

Despejando:

$$V_{ot} = C \sqrt{2g(Lectura 1 - Lectura 2)}$$



Fotografía 6.d. Tubo de Prandtl.

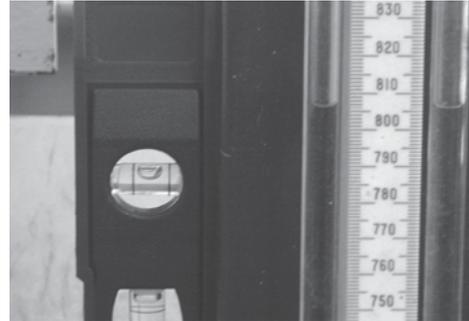


Foto. 6e. Manómetro conectado al tubo de Prandtl

En la fotografía se muestra el tubo de Prandtl con las mangueras que se conectan al manómetro en el cual se toman las dos lecturas.

Para validar este dispositivo se revisaron todos sus componentes incluyendo el manómetro. Se verificaron las fugas y se remplazaron los componentes que estaban en mal estado como las mangueras y empaques. Se probó el funcionamiento del aparato hasta comprobar que ninguna burbuja afectara las lecturas.

6.3.-Pruebas para la Validación del Starflow

Para la validación del Starflow; revisar su correcto funcionamiento se llevaron a cabo dos pruebas de tiempo no definido y con variación de gastos.

El Starflow se configuro para intervalos de grabación de 1minuto, frecuencia de medida a 15 segundos y sin sub-intervalo de medición. Se activaron las variables de área, velocidad, gasto, temperatura y tirante (profundidad).

En esta prueba se verifico que los valores Starflow presentados en tiempo real en pantalla fueran sensibles a cada uno de los cambios en el flujo, reproduciendo los gastos y pendientes predeterminados.

6.3.1.-Plan de Pruebas

Se utilizo para la mayoría de las pruebas en laboratorio, el canal rectangular de pendiente variable, y además se hizo un conjunto de pruebas en el canal trapecial.

Para las mediciones de cada prueba, con el medidor Starflow, se ha tenido en cuenta las condiciones recomendadas de instalación del medidor: *(1) nivelado en el fondo del canal, (2) alineado en la dirección del eje, (3) en el centro del canal.*

Para las mediciones controladas de cada prueba, se hizo uso de varios métodos analíticos: ecuación de la velocidad de Manning y ecuación del Vertedero del canal de descarga, ecuación de la energía.

El Plan de pruebas se divide en dos grupos diferenciados, el primer grupo de pruebas se las denomina: *pruebas de tiempo corto*; el segundo grupo de pruebas se las denomina: *pruebas de tiempo largo*.

Estas pruebas se las nombra con un código como el siguiente: CP1G1R0. El primer carácter puede ser C (para prueba tiempo corto) o L (para prueba tiempo largo). El segundo y tercer carácter pueden ser P1 (pendiente 1), P2 (pendiente 2). El cuarto y quinto carácter pueden ser de G1 (gasto 1), G2 (gasto 2). El sexto carácter puede ser R (canal rectangular) o T (canal trapezoidal). El séptimo carácter puede ser 0 (condición recomendada), 1 (condición no recomendada 1), 2 (condición recomendada 2), 3 (condición recomendada 3). Las variaciones en condiciones 1, 2 y 3 consisten en variaciones de 5 grados respecto al eje del canal, y horizontal para 2 y 3 respectivamente, y alejado del centro del canal en condición 1.

6.3.1.1.-Pruebas de Tiempo Corto

Este grupo de pruebas de tiempo corto se realiza en el canal rectangular de pendiente variable (Tabla X) y en el canal trapezoidal (Tabla Y).

La duración de cada prueba es de 1 hora, con frecuencia de medida cada 15 segundos e intervalo de grabación de datos en el computador cada 1 minuto. El periodo de cada prueba y número de mediciones es con la finalidad de tener una gama de mediciones para una misma prueba, reduciendo así el alto grado de incertidumbre del medidor al tomar una sola medición.

Estas pruebas permitirán determinar el porcentaje de error de las mediciones del medidor Starflow, para diferentes gastos en los dos canales de laboratorio, además de diferentes pendientes para el canal rectangular de pendiente variable.

La primera serie de 12 pruebas se realizaron en el canal rectangular de pendiente variable (Tabla 1), donde se variaron el gasto (por tanto el tirante) y la pendiente. Se dieron cuatro posibilidades diferentes de gasto y tres posibilidades diferentes de pendiente. Durante cada prueba (1) se calcula el gasto en el vertedor rectangular del canal de descarga, midiendo la carga en el vertedor rectangular (2) se miden dos tirantes en el canal cerca al medidor Starflow con dos limnímetros, el valor final del tirante es la media de ambos, (3) finalmente se calcula la velocidad media dividiendo el gasto entre el área hidráulica de la sección.

Tabla 1: Códigos de pruebas en el canal rectangular de pendiente variable, donde el medidor Starflow cumple las condiciones de instalación recomendadas

Gasto	G1=	G2=	G3=	G4=
Pendiente				
P1=	CP1G1R0	CP1G2R0	CP1G3R0	CP1G4R0
P2=	CP2G1R0	CP2G2R0	CP2G3R0	CP2G4R0
P3=	CP3G1R0	CP3G2R0	CP3G3R0	CP3G4R0

La segunda serie de 4 pruebas se realizaron en un canal trapezoidal de pendiente fija (Tabla 2), donde se vario el gasto. Durante cada prueba se mide la carga del vertedor aguas abajo del medidor; también se miden dos tirantes del canal ubicados aguas arriba y abajo del medidor

Tabla 2: Código de pruebas en el canal trapezoidal de pendiente fija, donde el medidor Starflow cumple las condiciones de instalación recomendadas

Gasto	G1=	G2=	G3=	G4=
Pendiente				
P0=	CP0G1T0	CP0G2T0	CP0G3T0	CP0G4T0

6.3.1.2.-Pruebas de Tiempo Largo

La duración de cada prueba es de 6 horas, lectura cada 5 segundos y se almacena en el computador cada 5 segundos. En el programa del Starflow es posible programar el grabado de datos en intervalos diferentes, siendo el de 5 segundos el intervalo más corto

Estas pruebas permitirán conocer la estabilidad del medidor ultrasónico en el tiempo, durante la toma de las mediciones (tirante, gasto y velocidad), evaluando también si la pendiente afecta la estabilidad. La diferencia del primer grupo de pruebas es que se almacena un mayor número de mediciones, al guardar o almacenar las mediciones al intervalo mínimo de 5 segundos y no de minuto que almacena el primer grupo de pruebas. También se propone un horizonte largo de medición de 6 horas, a 1 hora, propuesta para el primer grupo de mediciones.

También se evaluará el porcentaje de error de las pruebas que cumplen las condiciones recomendadas, frente a las pruebas que no cumplen las condiciones recomendadas, estas son condiciones de ubicación del medidor Doppler (Tabla Y). Estas condiciones son las siguientes:

- (0) Medidor Starflow cumple las condiciones de instalación recomendadas
- (1) Medidor Starflow NO cumple las condiciones de instalación recomendadas, se ubicará el medidor distante del eje del canal, pero fijo en el fondo del canal y paralelo al eje, es decir no se permite inclinación vertical y horizontal respecto al eje del fondo del canal
- (2) Medidor Starflow NO cumple las condiciones de instalación recomendadas, se permitirá inclinaciones del medidor en el plano vertical del canal, mediante el uso de un instrumento diseñado para la prueba, pero ubicado en el eje del canal, es decir no se permite inclinación horizontal
- (3) Medidor Starflow NO cumple las condiciones de instalación recomendadas, se permitirá inclinaciones del medidor en el plano horizontal del canal, donde el eje del medidor no es paralelo al eje del canal, pero los ejes se cruzan y el medidor esta fijo en el fondo del canal, es decir, no se permite inclinaciones verticales

La tercera serie de 12 pruebas se realizaron en el canal rectangular de pendiente variable (Tabla 3), donde se mantuvo constante el gasto (por tanto el tirante) y la pendiente es variable, así como las condiciones de instalación del medidor. Se dio una posibilidad de gasto, tres posibilidades diferentes de pendiente y 4 posibilidades diferentes de condiciones de instalación. Durante cada prueba (1) se calcula el gasto en el vertedor rectangular del canal de descarga, midiendo la carga en el vertedor rectangular (2) se miden dos tirantes en el canal cerca al medidor Starflow con dos limnómetros, el valor final del tirante es la media de ambos, (3) finalmente se calcula la velocidad media dividiendo el gasto entre el área hidráulica de la sección..

Tabla 3: Pruebas en el canal rectangular de pendiente variable, donde el medidor Starflow cumple y No cumple las condiciones de instalación recomendadas.

Gasto Pendiente	G2=			
	Condición (0)	Condición (1)	Condición (2)	Condición (3)
P1=	LP1G2R0	LP1G2R1	LP1G2R2	LP1G2R3
P2=	LP2G2R0	LP2G2R1	LP2G2R2	LP2G2R3
P3=	LP3G2R0	LP3G2R1	LP3G2R2	LP3G2R3

6.3.2.-Mediciones

Se han desarrollado dos pruebas preliminares que han permitido evaluar la puesta en marcha y funcionamiento del medidor, así como las capacidades del software del medidor Starflow. La primera prueba preliminar permitió evaluar las diferentes condiciones necesarias para la puesta en marcha, en laboratorio, del medidor. También se verificó el cambio de la variable tirante al modificar la pendiente del canal. La segunda prueba preliminar permitió evaluar de forma preliminar los resultados de varias variables, para una prueba de corto tiempo y para un gasto constante.

Para las mediciones del primer grupo de 12 pruebas y segundo grupo de 4 pruebas, el medidor Starflow se coloca en el eje del fondo. Para las mediciones del tercer grupo de 12 pruebas, únicamente en las 3 primeras pruebas el medidor se coloca en el eje del fondo.

Las mediciones que se hagan se presentan en forma gráfica y tablas para poder tener un análisis comparativo.

A continuación se presenta el programa de presentación de las mediciones del medidor Starflow (la totalidad, la media), mediciones directas y resultados a obtener, para las diferentes pruebas, en forma gráfica. Los ficheros texto que genera el programa, se presentaran en un Anexo.

- A. Gráficas de mediciones de tiempo corto del medidor Starflow (lineal). Grafica A1 Tirante canal Rectangular (12 líneas), Grafica A2 Gasto canal Rectangular (12 líneas), Grafica A3 Velocidad canal Rectangular (12 líneas). Grafica A4 Tirante canal Trapezoidal (4 líneas), Grafica A5 Gasto canal trapezoidal (4 líneas), Grafica A6 Velocidad canal Trapezoidal (4 líneas), Grafica A7 Temperatura canal Rectangular (4 líneas), Grafica A8 Temperatura canal Trapezoidal (4 líneas). Estos valores serán los valores numéricos extraídos de los esquemas.
- B. Gráficas resumen de medias de mediciones de tiempo corto tomadas del medidor Starflow frente a las obtenidas analíticamente (barras). Grafica B1 Tirante canal Rectangular

medidor frente a analítico (12 pares) , Grafica B2 Gasto canal Rectangular (12 pares), Grafica B3 Velocidad canal Rectangular (12 pares). Valores numéricos de esquemas comparados con los valores numéricos de instrumentos.

- C.** Gráficas de mediciones de tiempo largo del medidor Starflow (lineal). Grafica C1 valores de tirante extraídos del Starflow, C2 valores de gasto, C3 valores de velocidad y C4 valores de tirante en condiciones 1,2 y 3.
- D.** Gráficas resumen de MEDIAS de mediciones de tiempo largo tomadas del medidor Starflow en condiciones óptimas frente a las obtenidas analíticamente (barras).
- E.** Graficas resumen de MEDIAS de mediciones de tiempo largo tomadas del medidor Starflow en condición R1 frente a las obtenidas analíticamente (barras).
- F.** Graficas resumen de MEDIAS de mediciones de tiempo largo tomadas del medidor Starflow en condición R2 frente a las obtenidas analíticamente (barras).
- G.** Graficas resumen de MEDIAS de mediciones de tiempo largo tomadas del medidor Starflow en condición R3 frente a las obtenidas analíticamente (barras).
- H.** Graficas resumen de MEDIAS de mediciones en canal trapecial tomadas del medidor Starflow frente a las obtenidas analíticamente (barras).
- I.** Tablas y graficas resumen de VARIANZA de mediciones de tiempo largo tomadas del medidor Starflow (barras). Estas incluyen las pruebas de condiciones óptimas, condición 1, 2 y 3.
- J.** Tablas y graficas resumen de PORCENTAJE DE ERROR derivadas de los datos recolectados de esquemas en CPV y trapecial.

Tabla X1: Varianza mediciones obtenidas con medidor Starflow (canal rectangular, medidor bajo condiciones recomendadas y no recomendadas)

Código Pruebas	Tirante	Velocidad	Gasto	Temperatura
LP1G2R0				
LP2G2R0				
LP3G2R0				
Varianza Rect. c/condiciones recomendadas condición 0				
LP1G2R1				
LP2G2R1				
LP3G2R1				
Varianza Rect. s/condiciones recomendadas situac. 1				
LP1G2R2				
LP2G2R2				
LP3G2R2				
Varianza Rect. s/condiciones recomendadas situac. 2				
LP1G2R3				
LP2G2R3				
LP3G2R3				
Media Rect. s/condiciones recomendadas situac. 3				

Tabla X2: % ERROR, Mediciones medias obtenidas con medidor Starflow frente a mediciones obtenidas con métodos analíticos (canal rectangular, medidor bajo condiciones recomendadas)

Código Pruebas	Tirante %	Velocidad %	Gasto %
CP1G1R0			
CP1G2R0			
CP1G3R0			
CP1G4R0			
CP2G1R0			
CP2G2R0			
CP2G3R0			
CP2G4R0			
CP3G1R0			
CP3G2R0			

CP3G3R0			
CP3G4R0			
Media Rect. c/condiciones recomendadas			

Tabla Y1. : % ERROR, Mediciones medias obtenidas con medidor Starflow frente a mediciones obtenidas con métodos analíticos (canal trapezoidal, medidor bajo condiciones recomendadas)

Código Prueba	Tirante	Velocidad	Gasto
CP0G1T0			
CP0G2T0			
CP0G3T0			
CP0G4T0			
Media Trapez. c/condiciones recomendadas			

Tabla X3: % ERROR, Mediciones medias obtenidas con medidor Starflow frente a mediciones obtenidas con métodos analíticos (canal rectangular, medidor bajo condiciones recomendadas y no recomendadas)

Código Pruebas	Tirante %	Velocidad %	Gasto %
LP1G2R0			
LP2G2R0			
LP3G2R0			
Media Rect. c/condiciones recomendadas			
LP1G2R1			
LP2G2R1			
LP3G2R1			
Media Rect. s/condiciones recomendadas situac. 1			
LP1G2R2			
LP2G2R2			
LP3G2R2			
Media Rect. s/condiciones recomendadas situac. 2			
LP1G2R3			
LP2G2R3			
LP3G2R3			
Media Rect. s/condiciones Recomendadas situac. 3			

Tabla X4: % ERROR, Mediciones medias obtenidas con medidor Starflow bajo condiciones recomendadas frente a mediciones medias obtenidas con medidor Starflow bajo condiciones no recomendadas

Código Pruebas	Tirante %	Velocidad %	Gasto %
LP1G2R1			
LP2G2R1			
LP3G2R1			
Media Rect. s/condiciones recomendadas situac. 1			
LP1G2R2			
LP2G2R2			
LP3G2R2			
Media Rect. s/condiciones recomendadas situac. 2			
LP1G2R3			
LP2G2R3			
LP3G2R3			
Media Rect. s/condiciones recomendadas situac. 3			

7.-GRAFICAS, ANALISIS Y RESULTADOS

7.1.- Análisis General de Resultados

7.1.1-Pruebas Cortas del CPV en Condiciones Recomendadas

En el primer grupo de pruebas cortas, el porcentaje de error en tirante medido con el transductor de profundidad vs. Limnómetro se mantuvo con un error de 1.6% sobreestimado y 2.5% por debajo del valor considerado como real. Este resultado representa un aumento del 1.75% mayor con el señalado en el manual Starflow

El rango de error en porcentaje en pruebas cortas para velocidad en condiciones optimas se mantuvo en un promedio de 10.2% por sobre el valor real, esto representa una sobre predicción constante a lo largo de todas la pruebas , variaciones de gastos y pendientes.

Aún cuando el error en porcentaje en la medición de tirantes no se mantuvo constante ya sea en una sobre predicción o disminución (y por consiguiente en calculo de área-gasto) los valores de gasto si presentan una sobre predicción constante en el primer grupo de pruebas con un promedio de 9.5%.

Las variaciones en disminución o sobre predicción de tirante no parecen tener relación alguna con el rango de velocidades y profundidades (no siguen patrón alguno).

Debido a que manual Starflow no menciona alguna explicación sobre el transductor de profundidad ubicado en el diafragma debajo del aparato, ni menciona tampoco el manejo interno de estos valores, no es posible determinar de manera fidedigna como se pudiera aplicar una corrección positiva o negativa según sea el caso. La mejor solución para este tipo de problema sería hacer un análisis en una hoja de calculo que permita verificar la correlación de toda la muestra y detectar valores que puedan no comportarse de manera esperada dentro del rango de $\pm 2\%$ de la media.

La sobre predicción que se mantiene en las pruebas cortas permite la utilización de un factor de corrección de estas dos variables que permitiría reducir el porcentaje de error de un rango de 10.2% y 9.5% a 3.2% y 3.5% para velocidad y gasto respectivamente en condiciones optimas. En cambio, el como utilizar un factor de corrección para el tirante, es una cuestión que el usuario tendrá que analizar detenidamente para poder interpretar algún factor que afecte a los valores favorablemente. Sin embargo, un procedimiento de este tipo puede recaer en la tentativa de ajustar valores, de manera ilógica o caprichosa.

7.1.2.- Pruebas en Canal Trapecial en Condiciones Recomendadas

Para las pruebas de una hora en el canal trapecial de velocidad, el factor del 10.2% en promedio, de sobre predicción, se presenta de igual manera que en las pruebas de tiempo corto, pero en la predicción de los valores de tirante no presentan ninguna tendencia o correlación perceptible, sino que se comportan de manera caótica; esto se

refleja a su vez en el aumento del porcentaje de error para el gasto de 22.8% en comparación con las pruebas de canal rectangular en condiciones optimas.

La presencia de porcentajes negativos y positivos en las mediciones de tirante es lo que provoca es la causa de la poca confiabilidad en la aplicación de una posible corrección.

Una corrección para el tirante podría disminuir el error en gasto de 32.3%, sin embargo, la falta de explicación del funcionamiento de este dispositivo en el manual Starflow, nubla la interpretación de errores del transductor de profundidad.

Para el caso de esta sección trapecial, el transductor de velocidad, refleja que tiene cierta confiabilidad al mostrar estabilidad en sus valores, a partir de rangos de velocidad por encima de 200mm/s, por debajo de estos valores se presentan errores de 20% y -7%. Pruebas posteriores con rangos de velocidades mayores a estos podría confirmar esta aseveración ya que solo se cuentan con 120 valores en dos pruebas que se mantuvieron dentro de esta tendencia a lo largo de 1 hora.

Las mediciones caóticas de tirante, al no conocer interpretaciones de errores no podrían considerarse como afectaciones en el diafragma debidas al aumento de velocidad.

Es importante mencionar que en el caso de la instalación en sección trapecial, pudiera no ser suficiente la condición de instalación, 10 veces el tirante para mantener una corriente estable debido a; cambios de sección circular-trapecial aguas arriba y contra pendiente y cambio de sección trapecial-rectangular aguas abajo.

7.1.3.- Pruebas de Tiempo Largo en CPV, en Condiciones 0,1,2 y 3

➤ Condición 0

En pruebas de tiempo largo el Starflow, presentó un porcentaje de error negativo promediado de toda la prueba de 1.7%, por debajo del valor real para condiciones de instalación optimas.

Una sobre predicción constante en 12.6% y 10.7% para velocidad y gasto respectivamente. Esto refleja que el porcentaje en pruebas largas aumenta paulatinamente hasta 2% para velocidad y 1.2% para gasto. El porcentaje de error en gasto se reduce derivado de la predicción negativa de tirante. Esta disminución se presenta paulatina y proporcionalmente al tiempo.

➤ Condición 1

La presencia de porcentajes de error negativos y positivos al variar las condiciones de instalación (alejado del centro del canal) causa que los porcentajes de error no sean confiables aunque se mantengan constantes para poder realizar un manejo de los mismos.

El valor medio para tirante en porcentaje de error fue de 11.1% mayor en comparación con las condiciones optimas de instalación. Las variables de velocidad

y gasto se mantuvieron aproximadas a las de condiciones optimas, sin embargo el porcentaje de error en gasto no mantuvo la sobre predicción constante.

➤ **Condición 2**

Al instalar el Starflow, con 5 grados alejado del eje longitudinal del canal; refleja que el porcentaje de error al medir la variable de profundidad aumento en 28%, en relación a las condiciones optimas. Derivada de esta condición el porcentaje de error en gasto aumento en 28.6% comparado con condiciones optimas. Este aumento de porcentaje de error aparece cuando se configuró el CR. con el Starflow en ángulo variado, combinada con un aumento en la velocidad y pendiente ($S=.006$).

Este tipo de variación de las condiciones óptimas de instalación parece no afectar el comportamiento de la velocidad en su porcentaje de error. Si se detecta un error de alrededor de estos valores en relación al tirante y gasto se puede corregir tomando en cuenta solo la variable de velocidad que se mantuvo con un porcentaje constante, y combinarla con una medida real de tirante-área para obtener el gasto.

➤ **Condición 3**

La variable de profundidad presento error negativo de 16.9% como máximo y 20.1% positivo en relación a la medía.

Como era de esperarse el porcentaje de error en velocidad disminuyó, esto causado porque al variar el ángulo 5 grados respecto de la horizontal el transductor promedia velocidades del espectro cercano a la superficie libre, dejando fuera parte fuera del perfil de velocidades. Este porcentaje de error fue de 5% que en comparación de las pruebas óptimas se redujo.

El aumento en porcentaje de error del tirante se refleja de igual manera en 3.1%(13.8%) mayor que en condiciones optimas.

7.1.4.-Análisis Gráfico de Condiciones de las Condiciones No Optimas de Instalación en CPV

Al observar las graficas C-4 y C-5, se puede observar la inestabilidad en la distribución de valores a lo largo de las pruebas de tiempo largo en condiciones no recomendadas. Esta inestabilidad se muestra en forma de picos y descensos pronunciados en un tiempo corto.

Gráficamente también se puede observar que la distribución de estos picos y descensos no sigue relación alguna en ninguna de las pruebas, imposibilitando la predicción de estos errores para una posible corrección.

7.1.5.-Análisis de Gráficas y Tablas de Varianza

De las graficas y tablas de varianza podemos observar que el promedio para tirante en condiciones óptimas en canal rectangular es menor comparándolo con las condiciones R1,R2,R3 y T0. Esta condición nos permite ver que aún cuando el transductor de profundidad no pareciera tomar en cuenta los cambios en las condiciones de instalación, si se ve afectados por los cambios de instalación y de sección

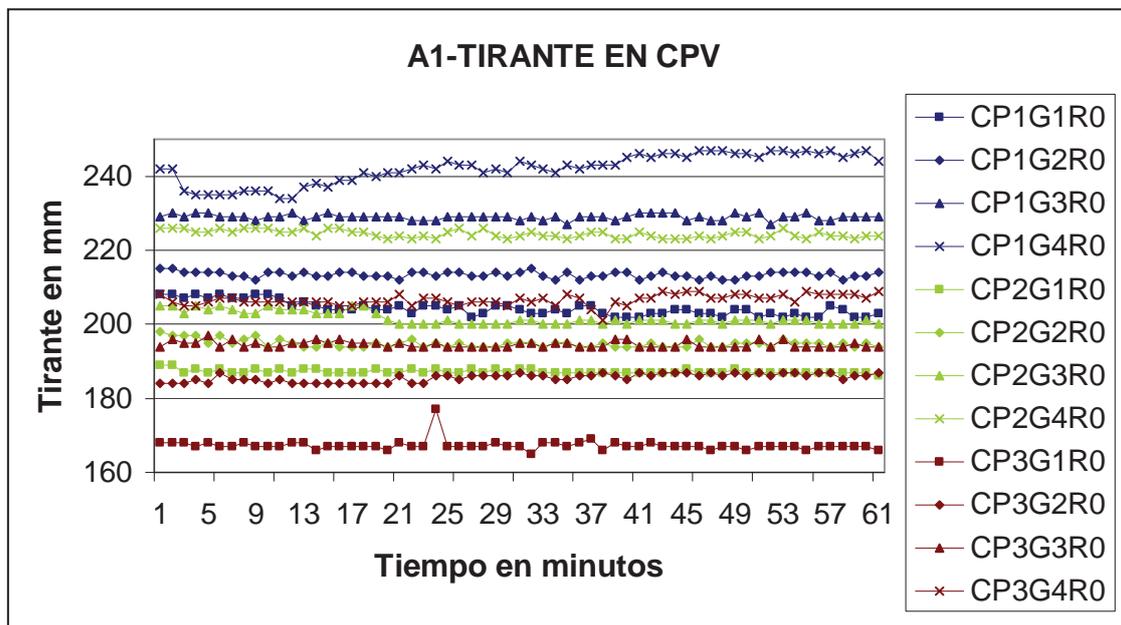
La varianza de gasto se mantiene en un valor de en promedio 1.264 para condiciones optimas. Esta medida aumenta comparándola con las otras condiciones.

La varianza en velocidad presenta valores que distan entre si haciendo una comparación de la condición optima y las no recomendadas, esto refleja la afectación que sufren los diferentes transductores al variarse las condiciones optimas de instalación. Si se compara de igual manera, la varianza de R0 y T0 no siguen algún patrón perceptible o se encuentran dentro del mismo rango de valores sino que distan en gran medida. Este cambio de sección y régimen de velocidad, muestra para el canal trapecial una varianza menor en comparación con el canal rectangular; tomando en cuenta que el rango de velocidades para trapecial es de máximo 250mm/s y el mínimo para rectangular fue de 520mm/s.

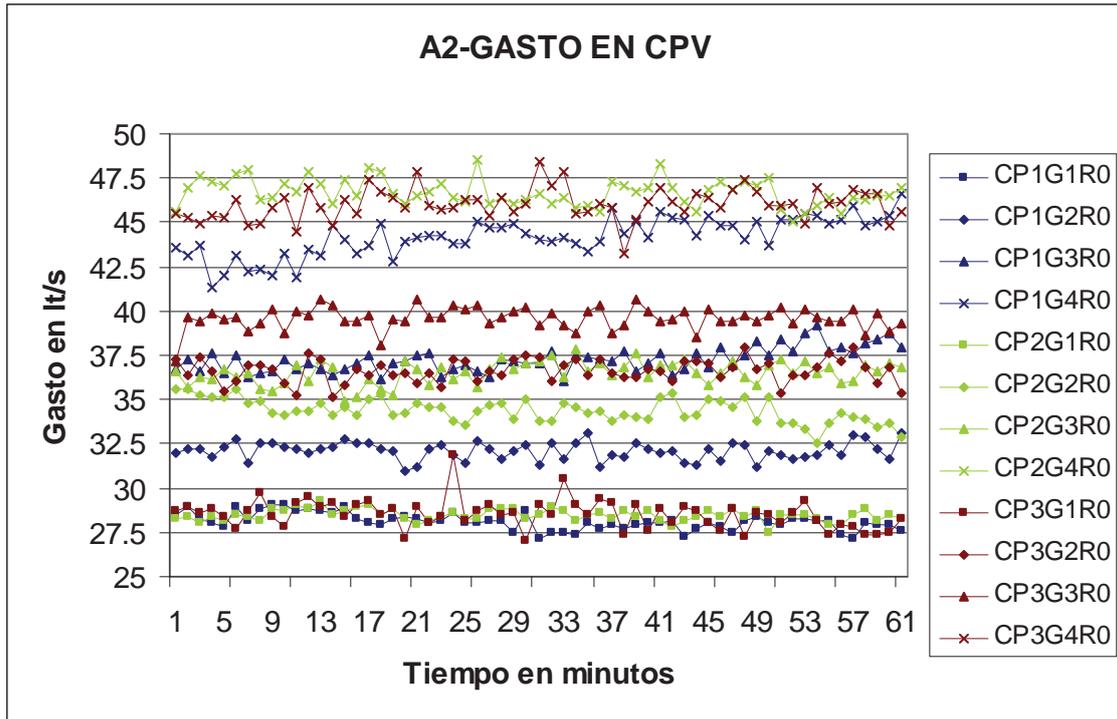
Haciendo una comparación de la instalación del Starflow en el canal rectangular y trapecial, ambos en condiciones optimas, se puede apreciar como el Starflow se comporta de manera diferente con el cambio de sección. Esto se ve reflejado en las diferentes varianzas para cada una de estas condiciones.

7.2.- Gráficas

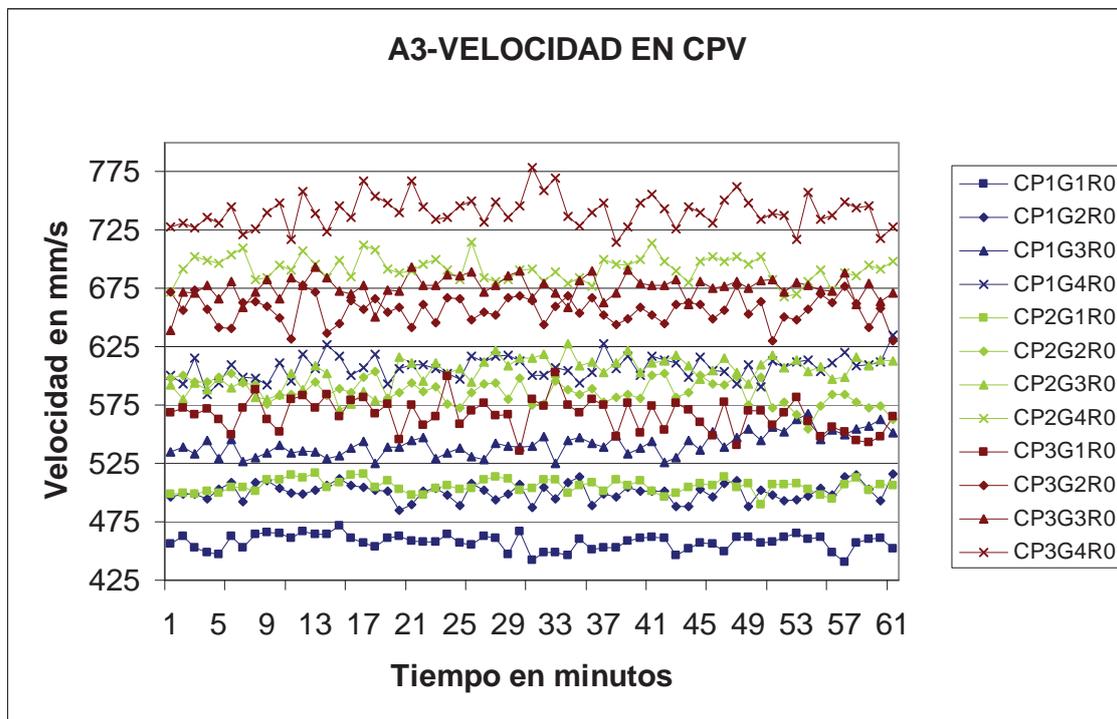
7.2.1- Gráficas Starflow de Tiempo Corto en CPV



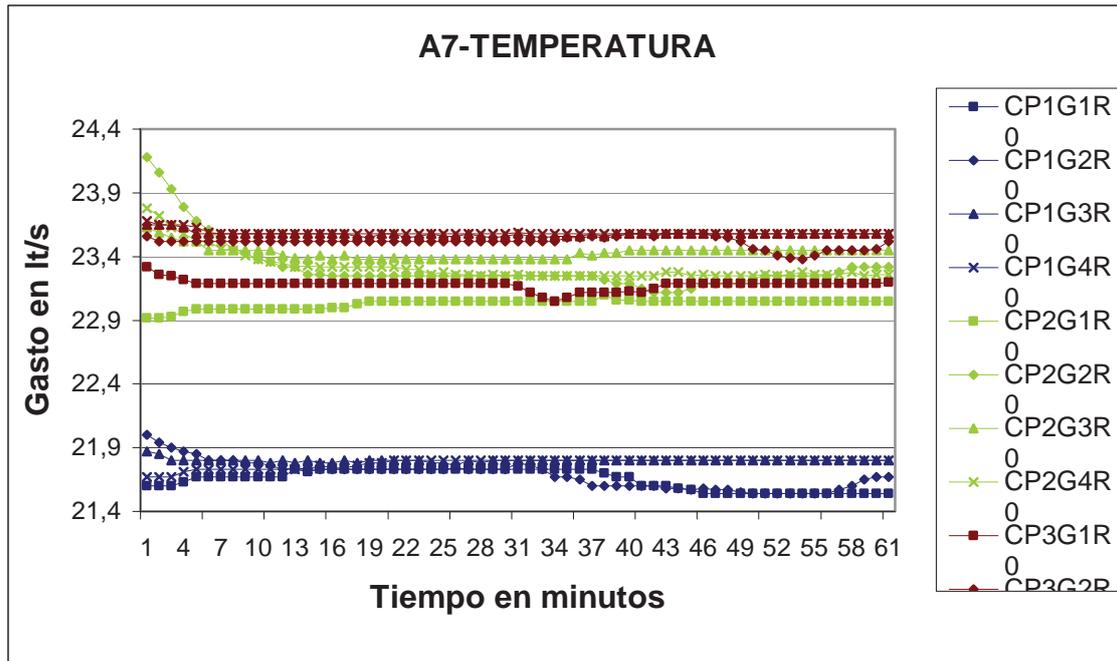
En la gráfica **A1**, las doce pruebas representadas con líneas reflejan valores puntuales distribuidos con una tendencia bien definida, no se visualizan picos en el grupo de líneas, a excepción de la prueba CP3G1R0 en el minuto 23, donde ocurre un pico ascendente. Las doce líneas presentan una tendencia a mantenerse en valores cercanos a los del principio de la prueba, exceptuando la prueba CP1G4R0 con una distribución ascendente.



La gráfica de gasto **A2**, presenta distribuciones de puntos bien definidas para valores de gasto menores a 40 lt/s. Para valores mayores el Starflow arroja líneas con numerosos picos y descensos que decrecen en pendiente, a medida que aumenta el tiempo de la prueba.

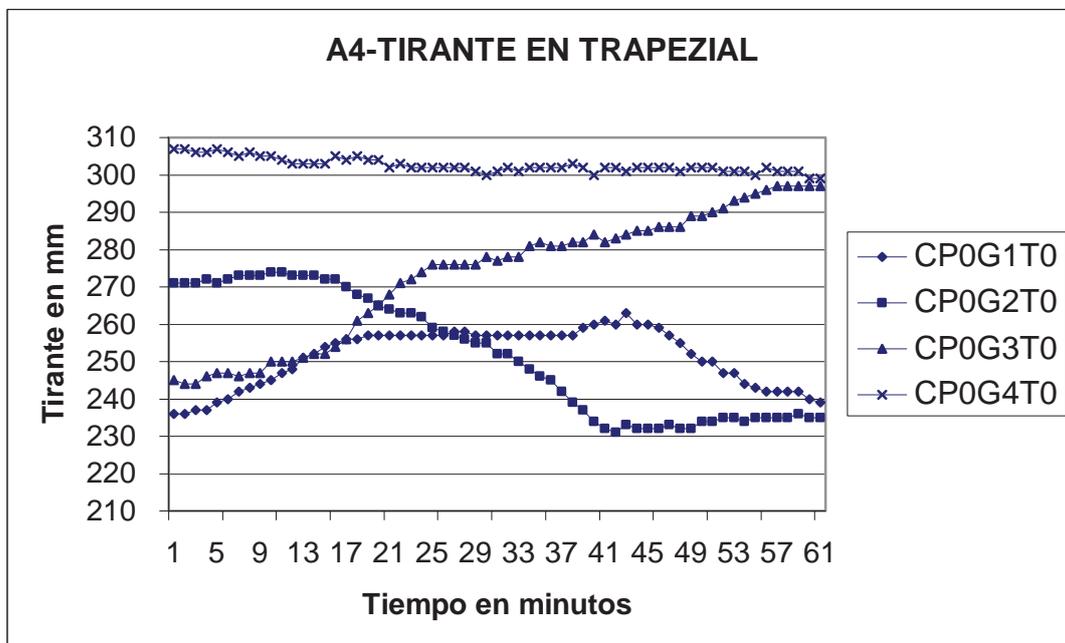


Gráfica **A3**. Las doce pruebas contienen picos y descensos distribuidos erráticamente a todo lo largo. La pendiente de estos picos o descensos es comparativamente menor en las pruebas con valores de velocidad menores 525 mm/s y es más pronunciada para valores de velocidad mayores a 625 mm/s. La pendiente de los picos aumenta a medida que aumenta la velocidad.

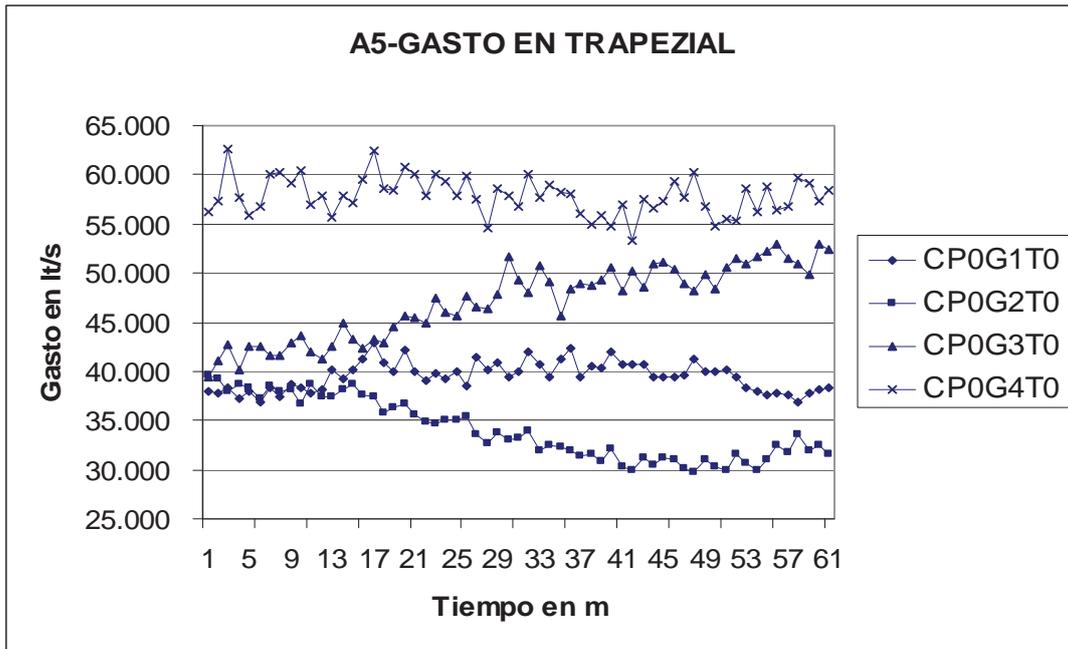


En la gráfica **A7**, se observa que las líneas de temperatura al inicio de todas las pruebas, se alejan de la media visual de valores y que en algunas de ellas ocurren descensos que se alejan también de la media visual, para después apegarse de nuevo a los valores medios.

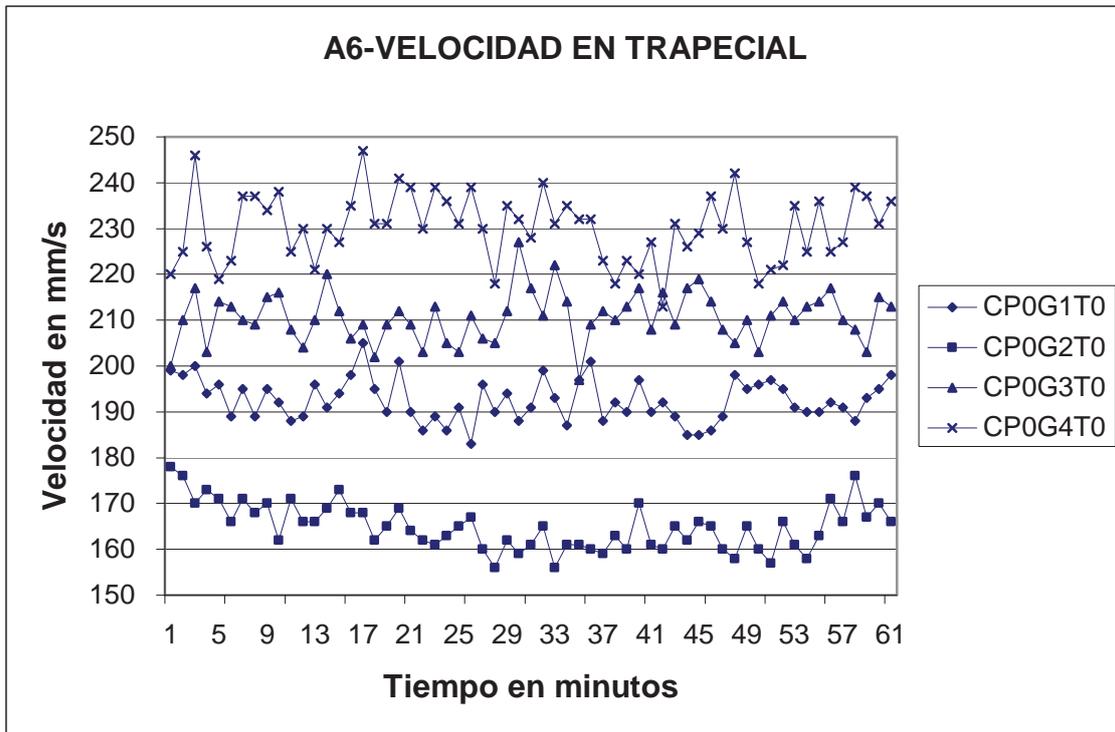
7.2.2- Gráficas Starflow de Tiempo Corto en CT



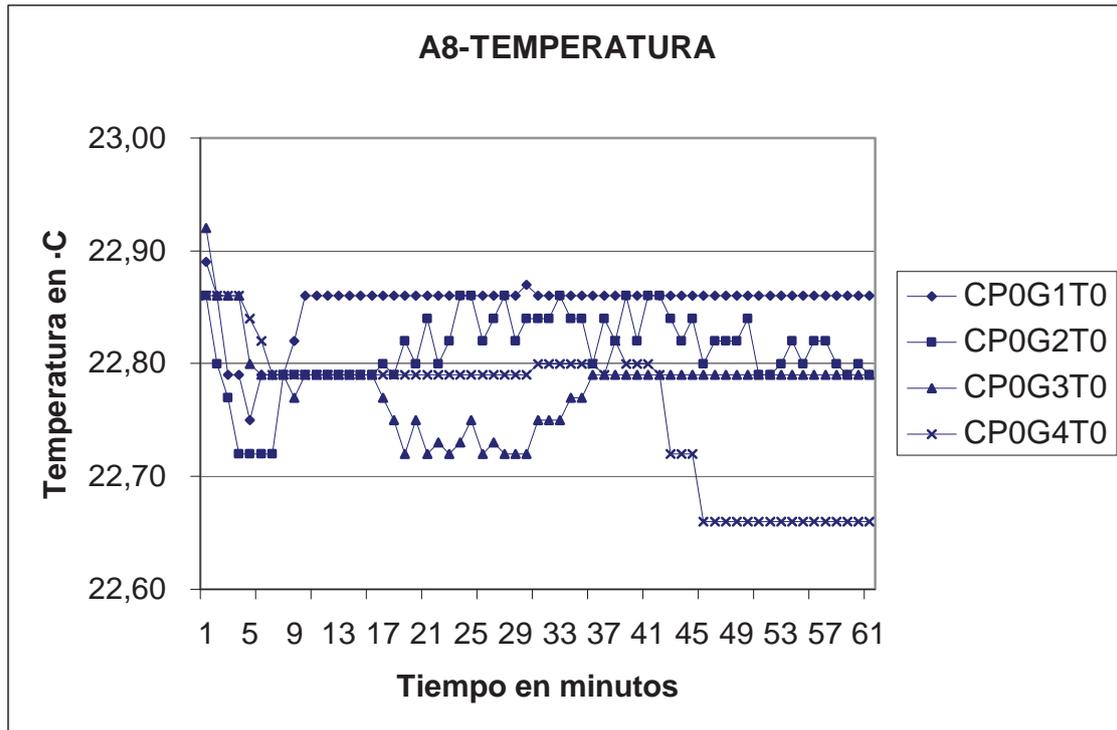
En la gráfica **A4**, de tirante en canal trapezoidal, se observa claramente el comportamiento errático de las pruebas que están por debajo de valores de 300 mm, ya que todas se alejan del valor inicial a medida que el tiempo de la prueba aumenta. En esta grafica, solo la prueba CP0G4T0 presentó una tendencia clara a disminuir proporcionalmente al tiempo transcurrido.



La gráfica **A5** de gasto para sección trapezoidal, refleja que para valores menores a 55 lt/s no existe una sola tendencia, ya sea a mantenerse alrededor de un valor medio, a incrementar o disminuir. Las pruebas de gastos de 1,2 y 3 parecen tener el mismo punto de origen y a medida en que el tiempo transcurre se ajusta cada una a su valor correspondiente.

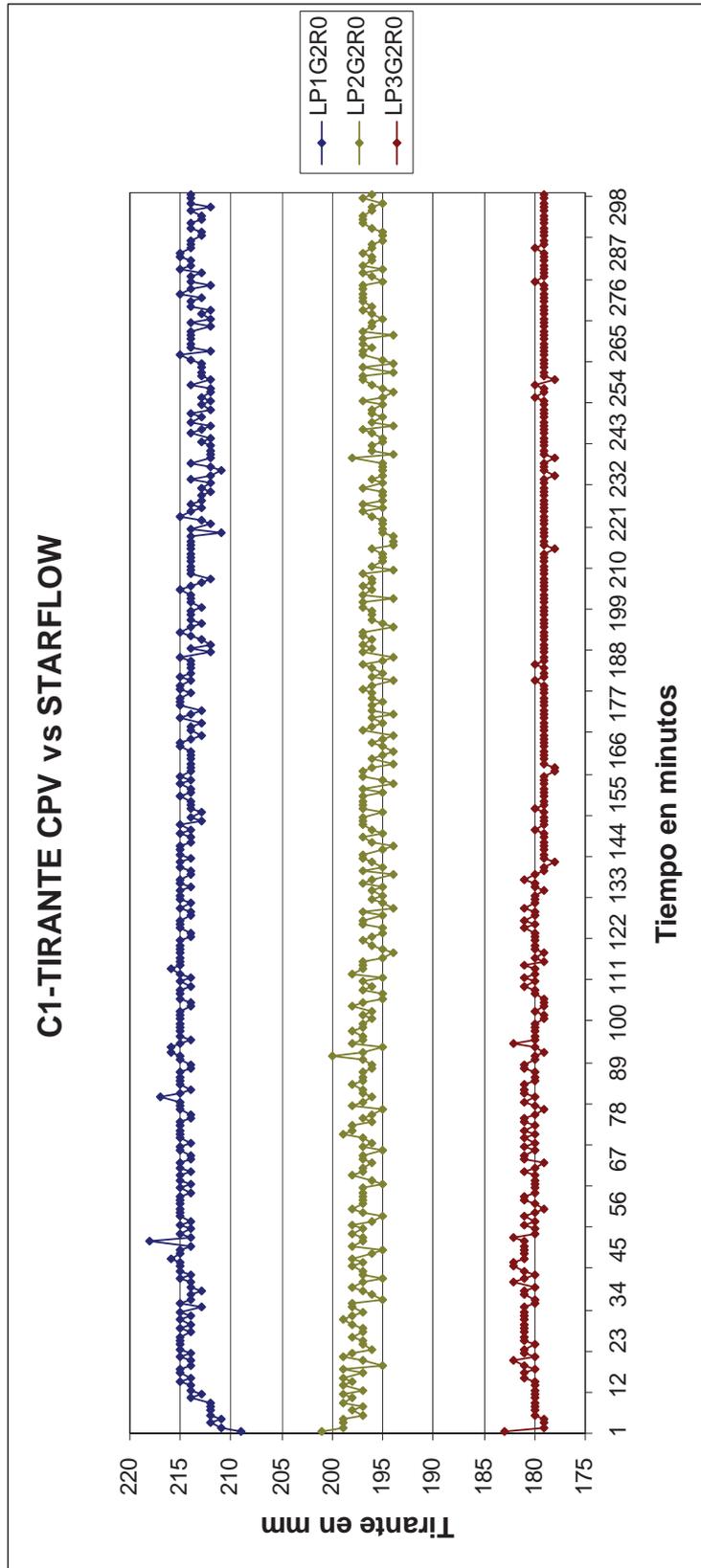


La gráfica **A6** de velocidad en trapezoidal, muestra un comportamiento similar en las cuatro pruebas, con presencia de picos y descensos que se distribuyen a todo lo largo. Visualmente se observa como estas cuatro pruebas se mantienen de manera constante sin decrecer o aumentar al transcurrir el tiempo.

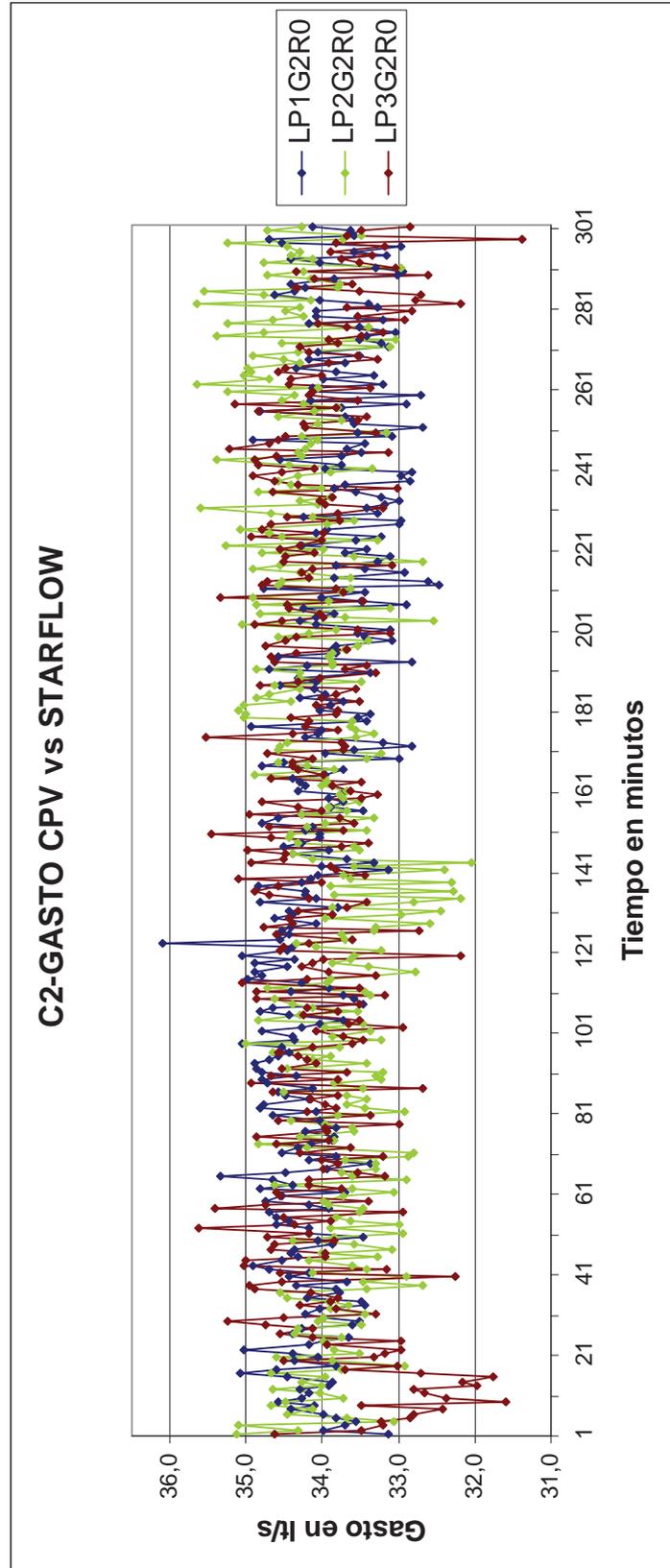


La gráfica **A8**, muestra la distribución de valores de temperatura a lo largo de las pruebas, que se muestra en su mayoría con una tendencia lineal en tramos considerables. Aunque al inicio de la prueba la tendencia es descendente para todas las pruebas y en la parte central ocurren descensos o crecidas.

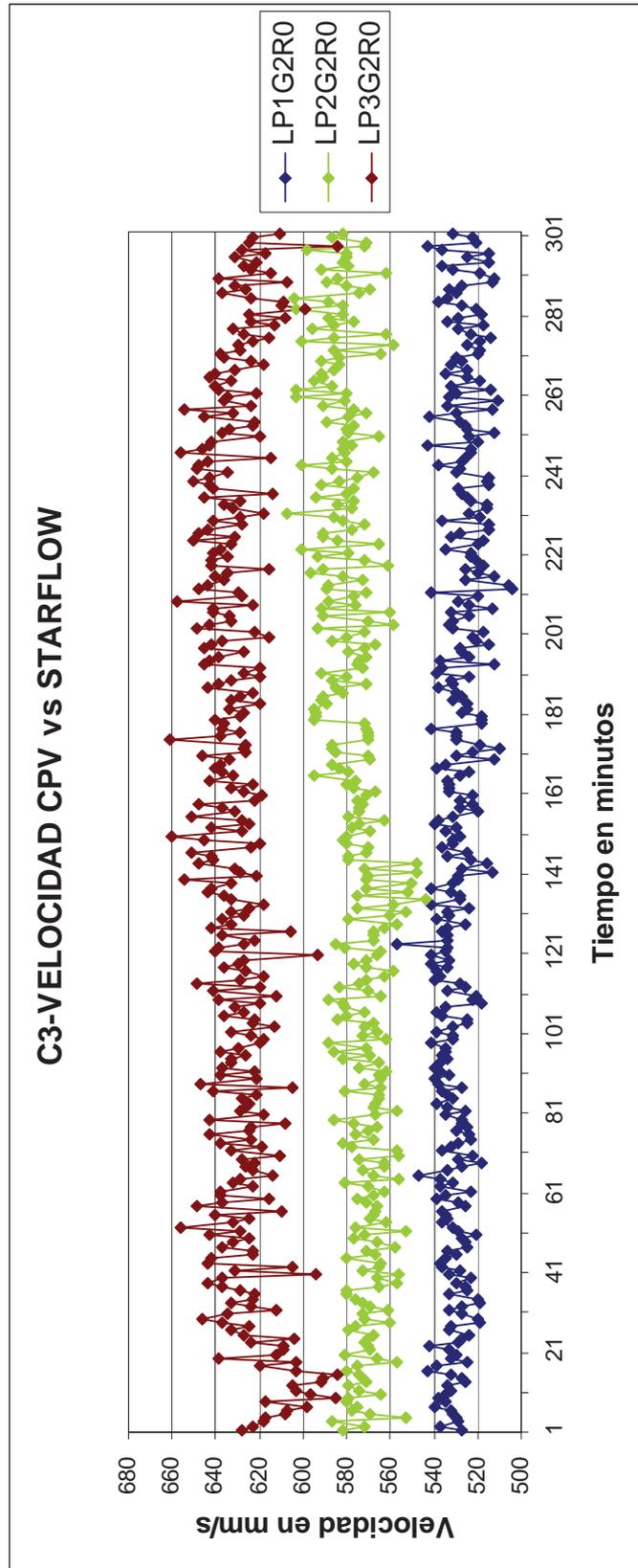
7.2.3- Gráficas Starflow de Tiempo Largo en CPV



La gráfica C-1 muestra una tendencia descendente en las tres pruebas. Los picos y descensos se distribuyen uniformemente a todo lo largo siendo mayores conforme la pendiente aumenta.

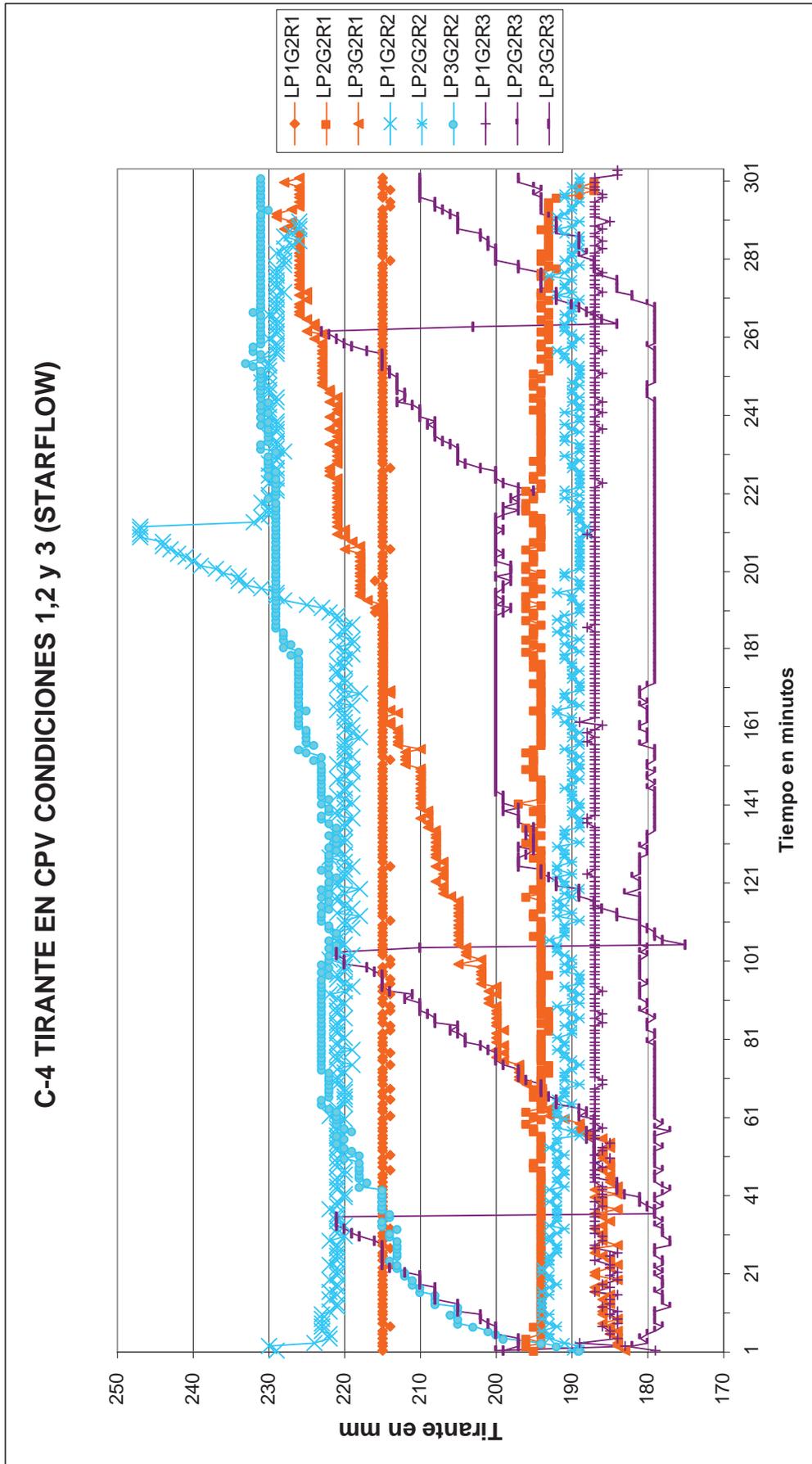


La gráfica **C-2** de gasto en pruebas de tiempo largo y condiciones recomendadas muestra picos y descensos en los tres casos a todo lo largo alrededor de un valor medio. Las tres pruebas aparecen superpuestas entre si debido a que el gasto reproducido en estas pruebas fue el mismo en los tres casos. En las tres pruebas ocurren picos y descensos pronunciados a lo largo de las cinco horas. Estos picos y descensos se distribuyen alrededor de un valor medio de aproximadamente 34 l/s.

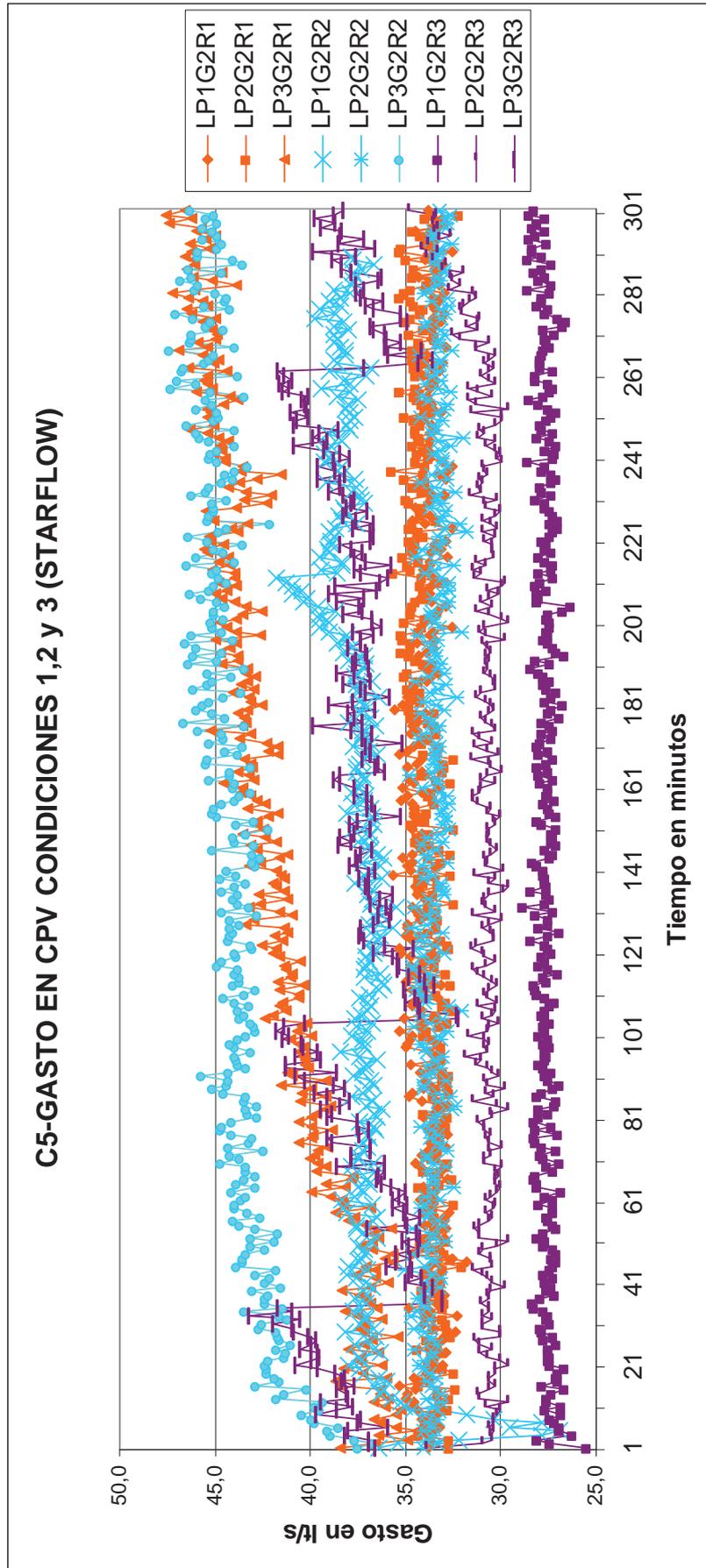


La gráfica C-3 de velocidad muestra picos y descensos en los tres casos a todo lo largo alrededor de un valor medio que se mantiene sin descenso o incremento conforme el tiempo aumenta.

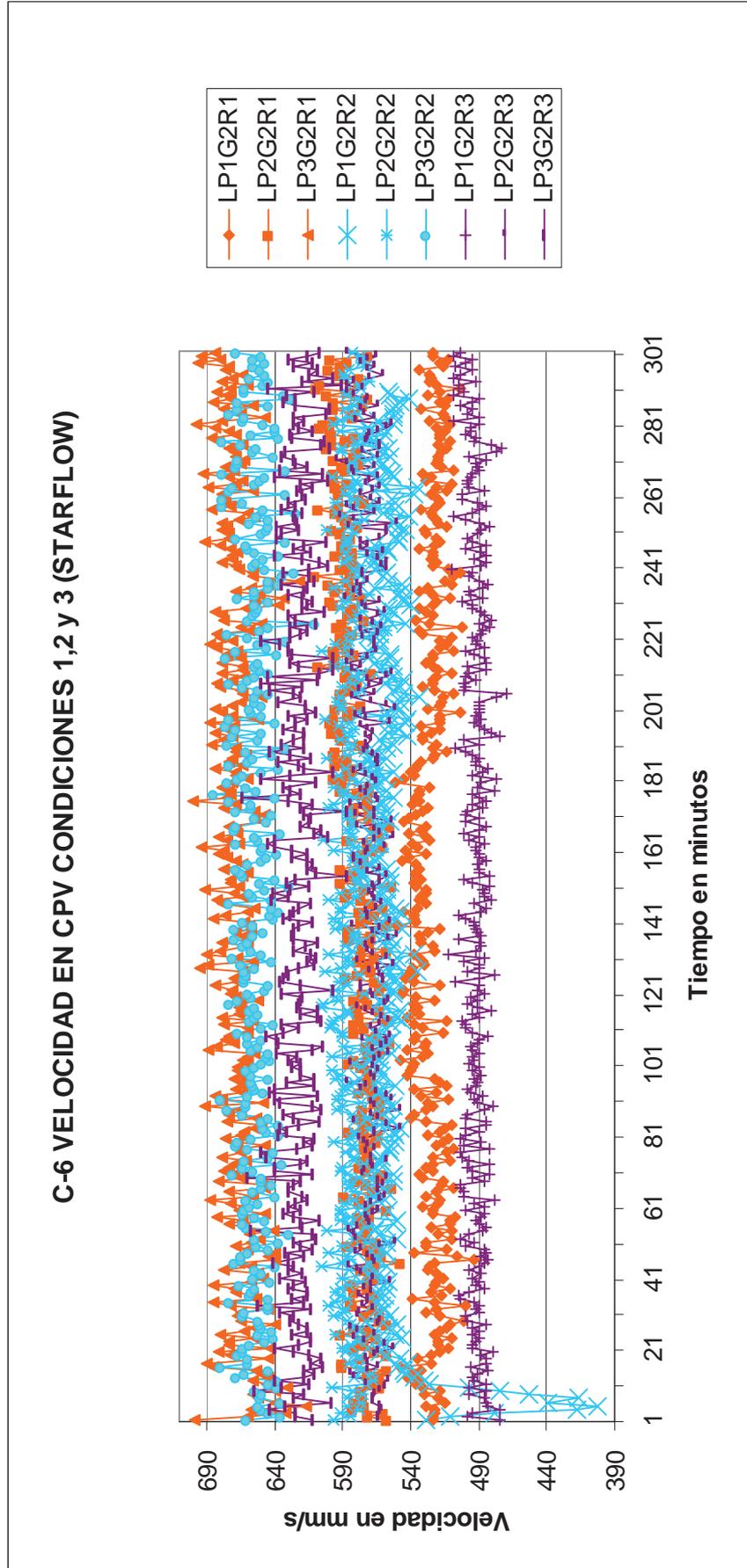
La gráfica **C-4** donde fueron dispuestos los valores de tirante para condiciones 1,2 y 3, muestra diferentes distribuciones de puntos en las tres condiciones. Las pruebas con pendiente 0.062 (P3) muestran una distribución de valores con tendencia ascendente a medida que el tiempo aumenta para 5P3G2R2 y 5P3G2R1 y en el caso de 5P3G2R3 se presentan incrementos con pendientes pronunciadas seguidas de caídas drásticas en toda la prueba. Para el resto de las pruebas la tendencia de distribución de valores se mantuvo constante alrededor de un valor medio. Las condiciones de instalación no parecen afectar el comportamiento del transductor de velocidad, en cambio la distribución de valores si se modifica a medida que la pendiente aumenta.



En la gráfica **C-5** se aprecia la distribución de valores de gasto para las pruebas en condiciones 1,2 y 3 en CPV. Estas pruebas representadas por líneas de tendencia visualizan el comportamiento del transductor de velocidad, el de profundidad y el microprocesador para calcular el gasto. En esta grafica refleja distribuciones de valores con una tendencia definida a mantenerse constantemente alrededor de un valor medio para valores de gasto menores a 35.0 lt/s esto incluye a las pruebas 5P1G2R3, 5P2G2R3, 5P2G2R1, 5P2G2R2 y 5P2G2R1. Las pruebas 5P3G2R1 y 5P3G2R2 muestran una clara tendencia ascendentemente proporcional al tiempo transcurrido. La prueba 5P3G2R3 presenta distribuciones ascendentes con caídas drásticas a lo largo de toda la prueba.

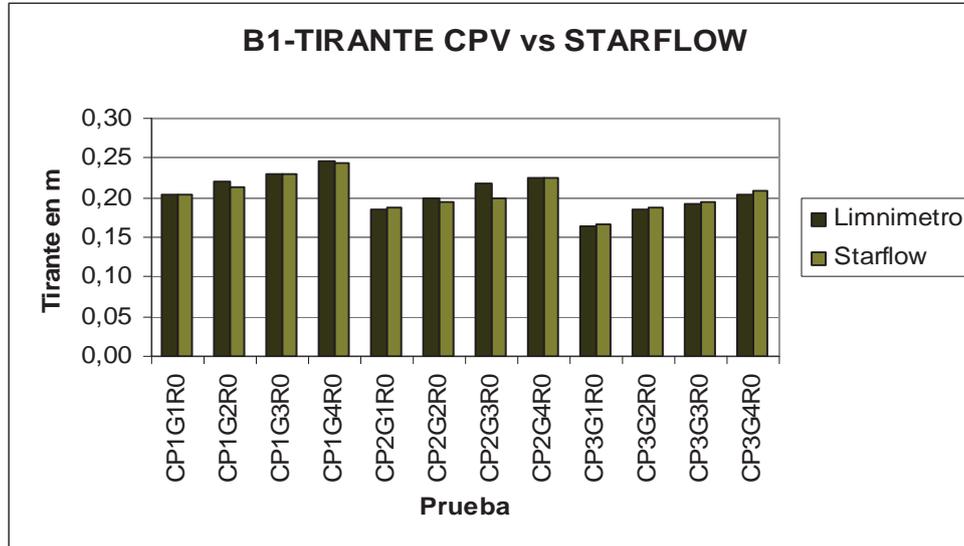


En La gráfica **C-6** se observan distribuciones uniformes de valores alrededor de valores medios para cada prueba. Esta tendencia de mantiene en el tiempo transcurrido sin incrementos o descensos en la media visual. En la prueba 5P1G2R2 se presenta una fuerte caída de valores que asciende rápidamente y se mantiene constante después.

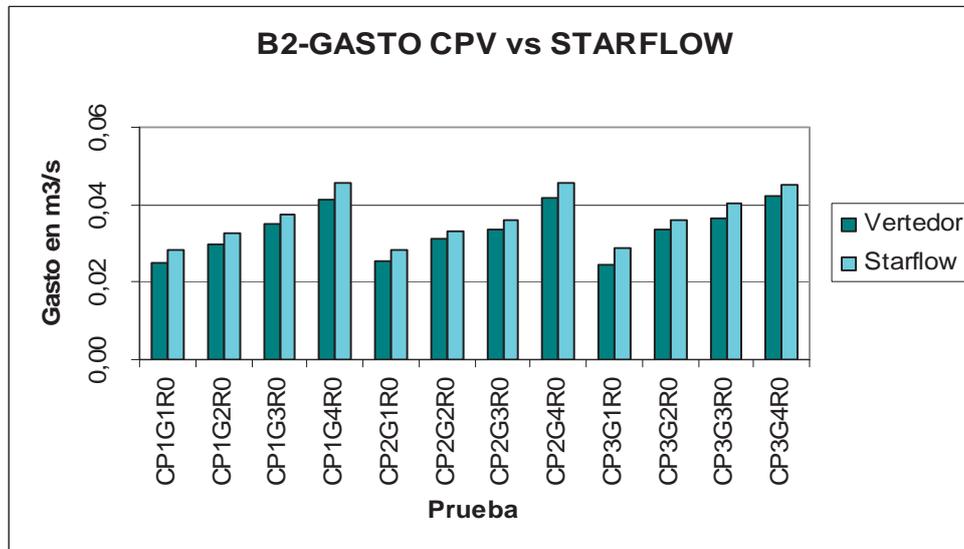


7.2.4- Graficas de Tipo Barras de Media Starflow vs. Medios Analíticos

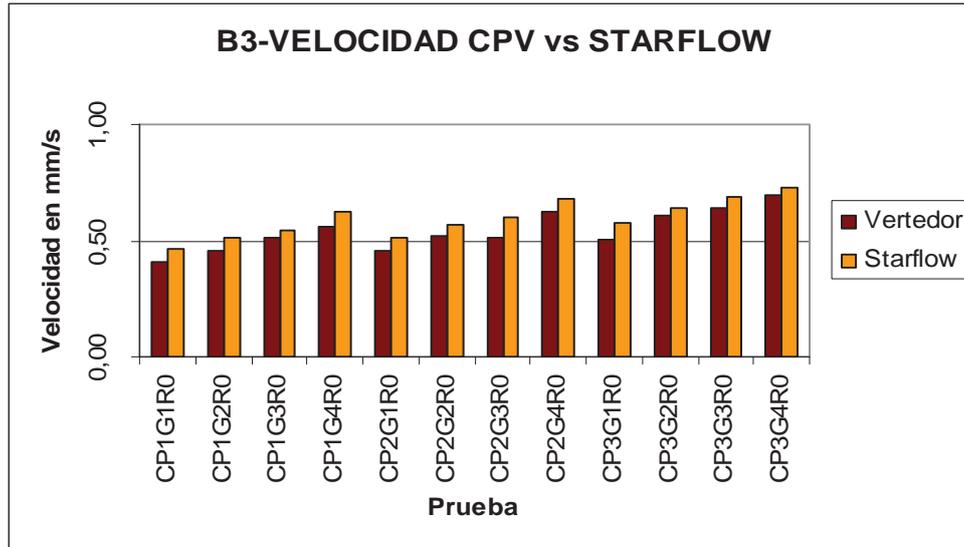
7.2.4.1.- Gráficas de Tiempo Corto en CPV con Condiciones Recomendadas



En la gráfica **B1**, se muestra una tendencia constante, de valores cercanos de métodos analíticos contra valores promedios del Starflow, para tirantes en pruebas cortar con condiciones optimas.

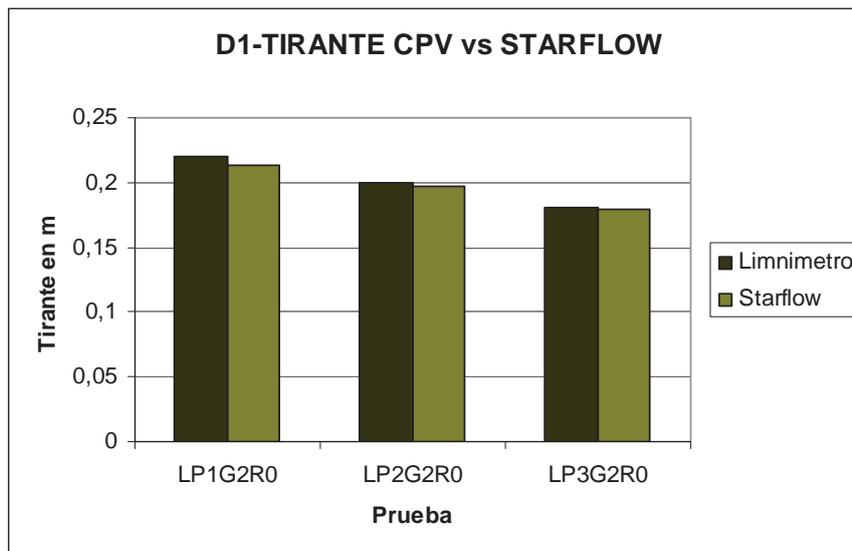


Gráfica **B2**. Los valores promedios de gasto Starflow se mantienen constantemente por encima de los de medios analíticos.

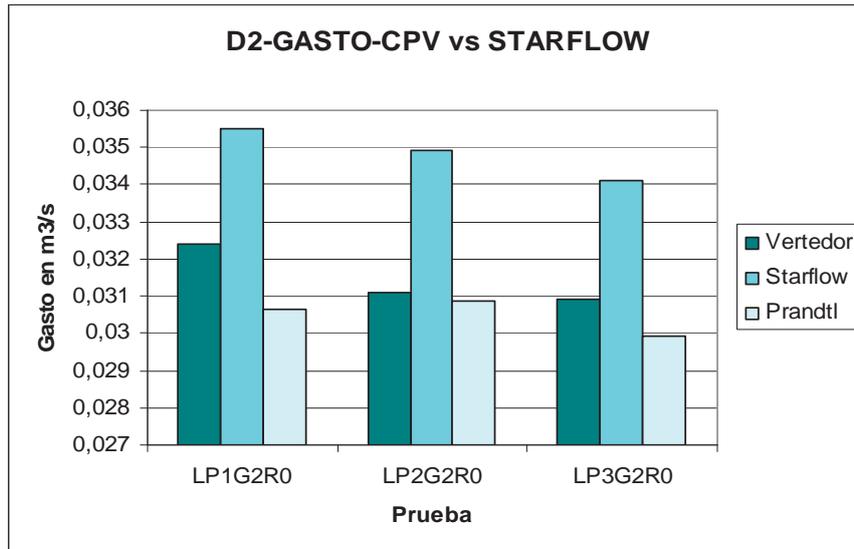


En la gráfica **B3**, todos los valores promedios de velocidad Starflow superan a los valores de medios analíticos.

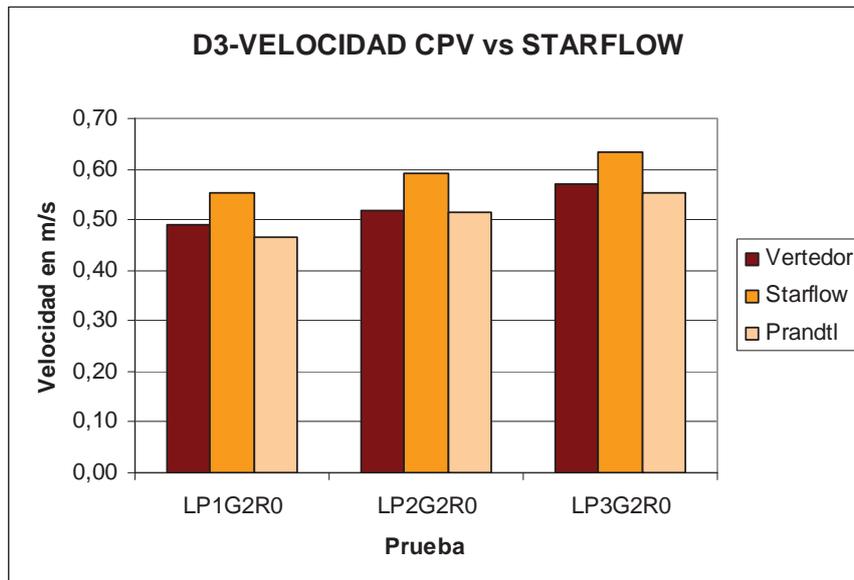
7.2.4.2- Gráficas de Tiempo Largo en CPV en Condiciones 0,1,2 y 3



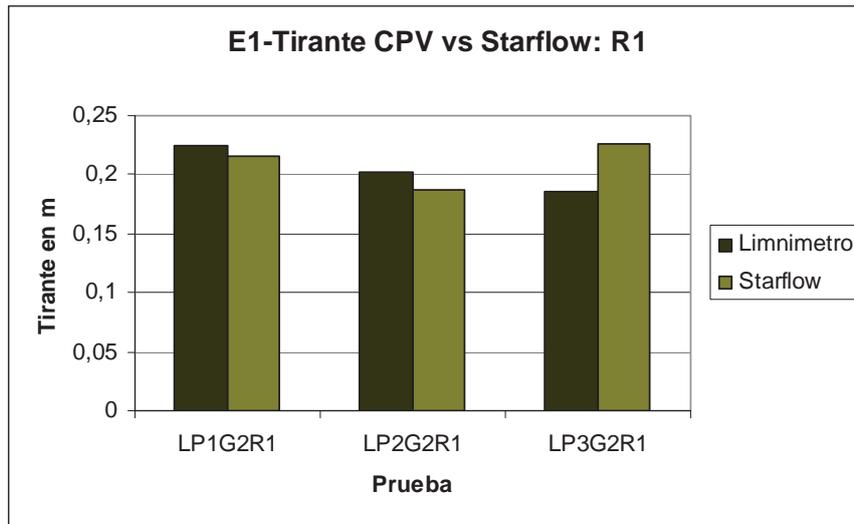
En la gráfica **D1**, se aprecia de manera gráfica, que el tirante promediado por el Starflow tiene una buena correlación con la media obtenida por medios analíticos, manteniendo una tendencia constante a subestimar el valor considerado como real.



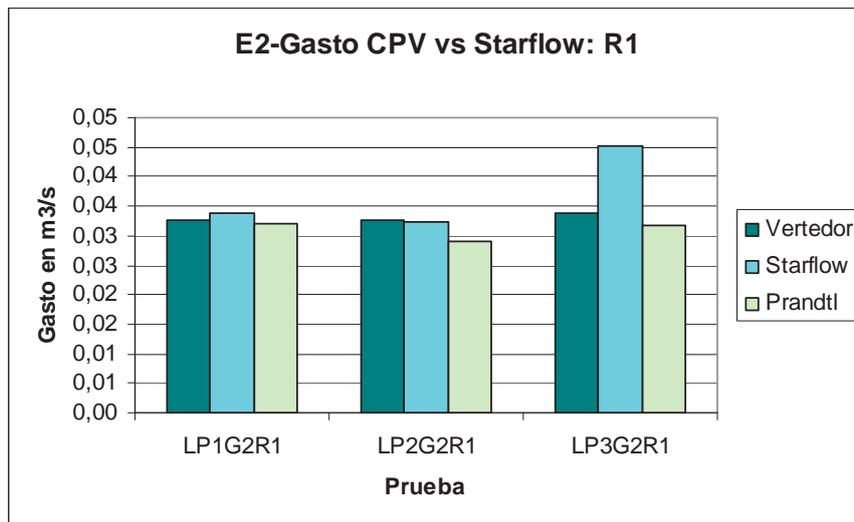
La gráfica **D2**, refleja una sobre predicción constante de gasto medido por el Starflow, comparado con el vertedor y gasto calculado con Prandtl.



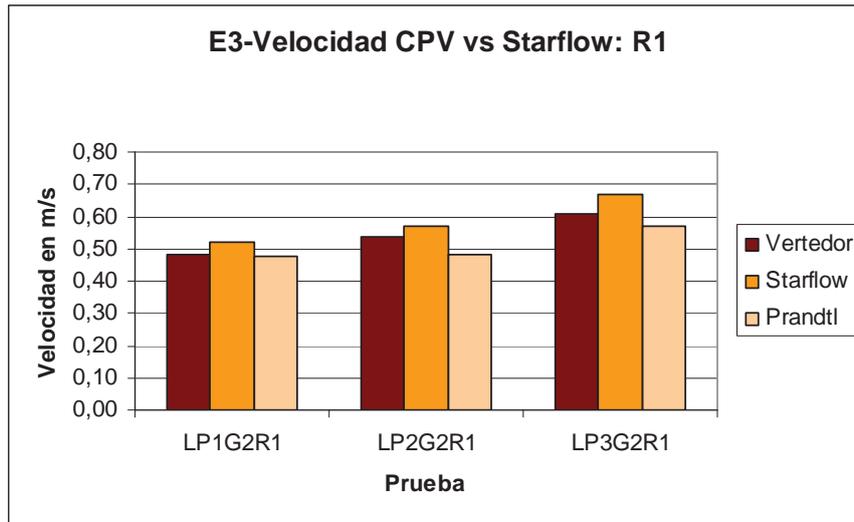
La gráfica **D3**, muestra una ligera diferencia de la media Starflow, en comparación de vertedor y Prandtl, para valores de velocidad en condiciones recomendadas.



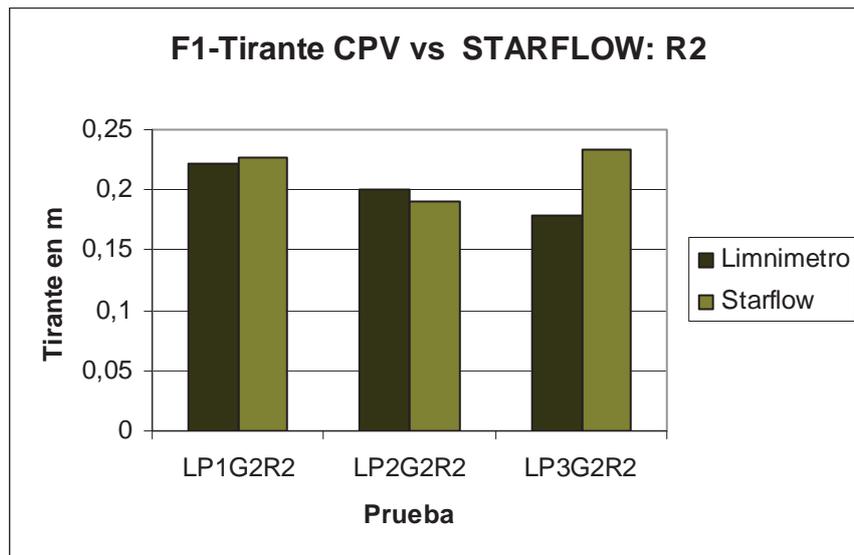
La gráfica **E1**, refleja un ligero aumento en sobre predicción de tirante del Starflow, relación a las condiciones recomendadas.



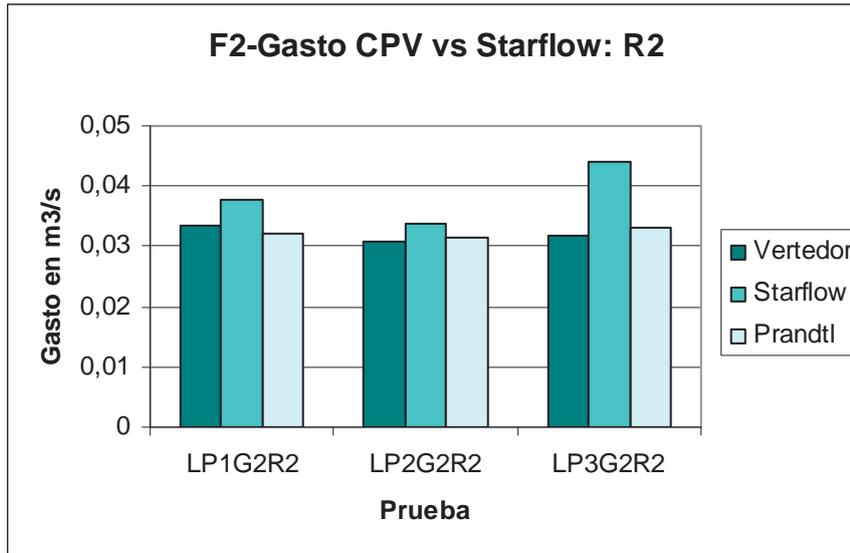
La gráfica **E2**, para valores de gasto en condición 1, el Starflow mantiene una correlación constante en pendientes 1 y 2. En pendiente 3, la media sobresale en mayor medida comparada con los medios analíticos y Prandtl.



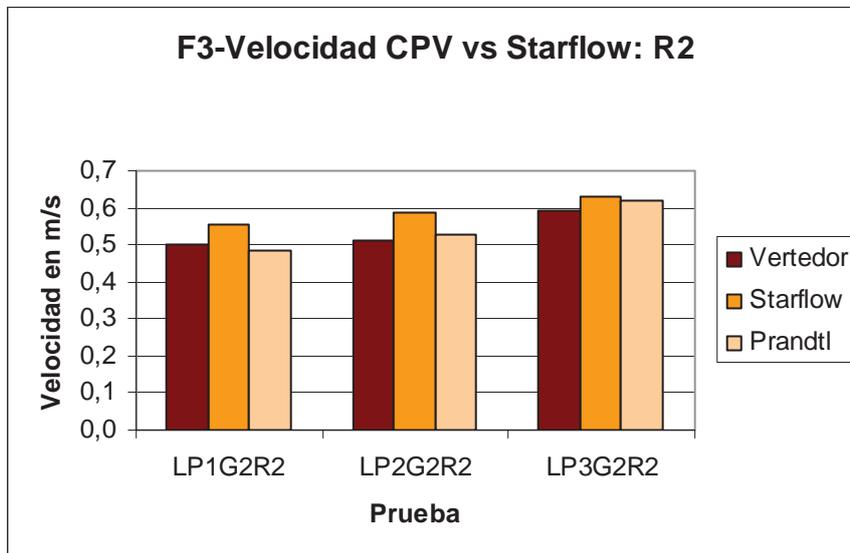
En la gráfica **E3**, el valor de la media Starflow, presenta la misma diferencia de Vertedor y tubo de Prandtl, en condición 1, que en condiciones recomendadas.



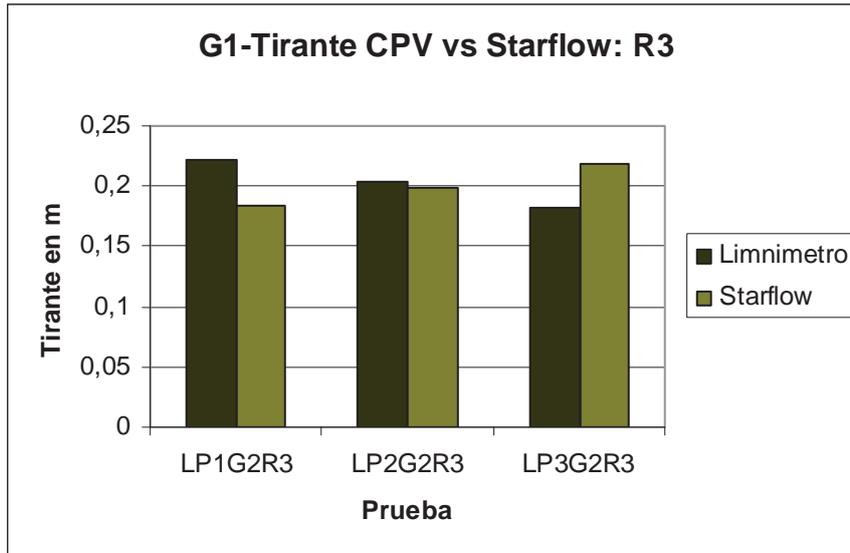
En la gráfica **F1**, se aprecia el mismo comportamiento que en **E1**, donde el Starflow se acerca en buena medida a los valores de tirante, obtenidos con métodos analíticos.



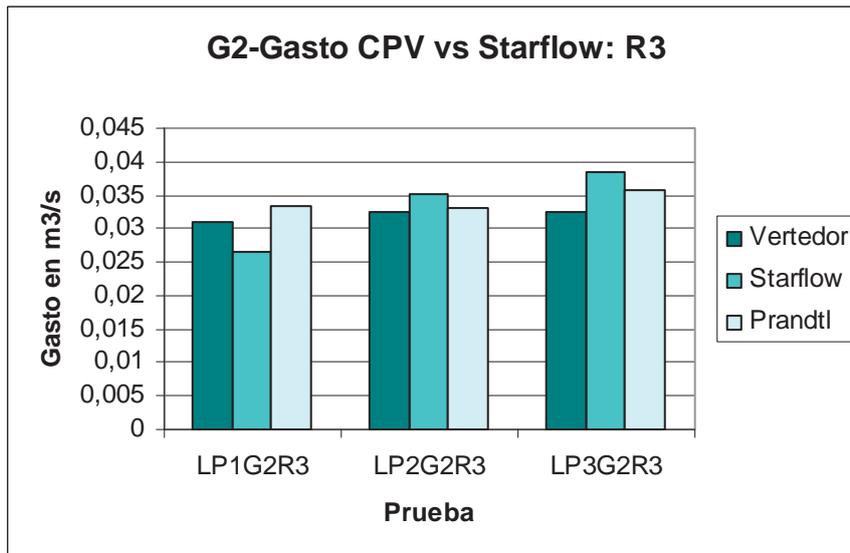
De la gráfica **F2**, para condición 2, se observa la tendencia constante del valor medio de las pruebas Starflow, a superar los de valores de vertedor y tubo de Prandtl.



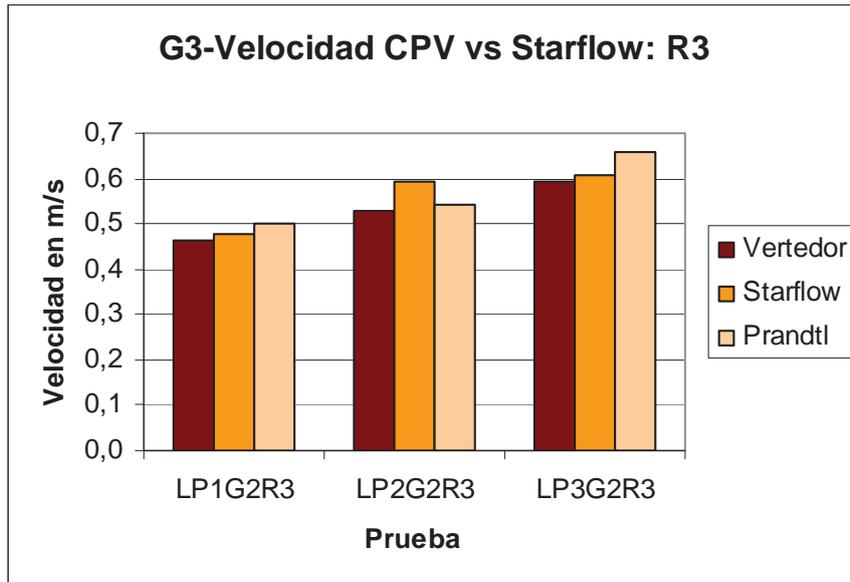
La gráfica **F3**, muestra que en la condición 2, el transductor de velocidad mantiene el mismo comportamiento que en condiciones recomendadas.



Para la condición 3, en la gráfica **G1**, los valores promediados del Starflow son menores a los de medios analíticos en pendientes 1 y 2, mientras que para pendiente 3 ocurrió una sobre predicción. Esto refleja como el transductor de profundidad modifica su comportamiento al variar la velocidad.

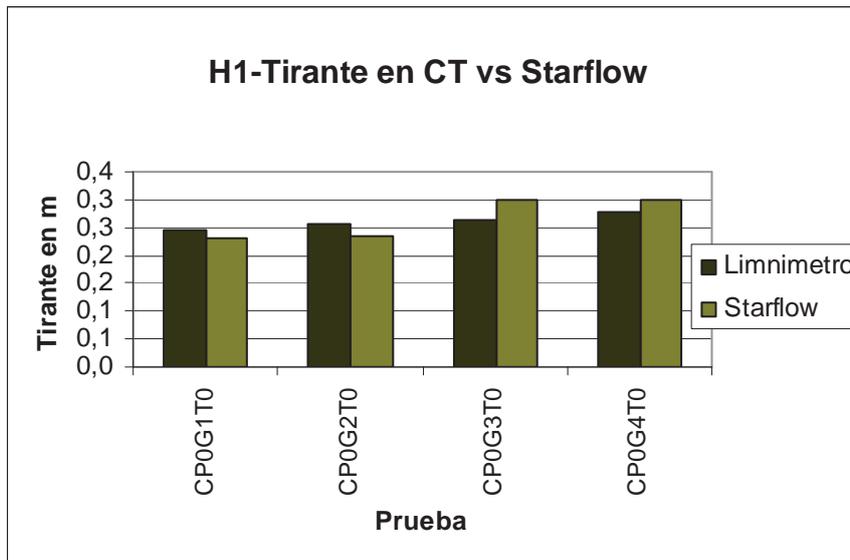


En la gráfica **G2**, las pruebas de pendiente 2 y 3 presentan sobreestimación del Starflow comparado con vertedor y tubo de Prandtl. Aunque el Starflow no presentó la misma tendencia si se mantuvo apegado a valores cercanos de los dos métodos.

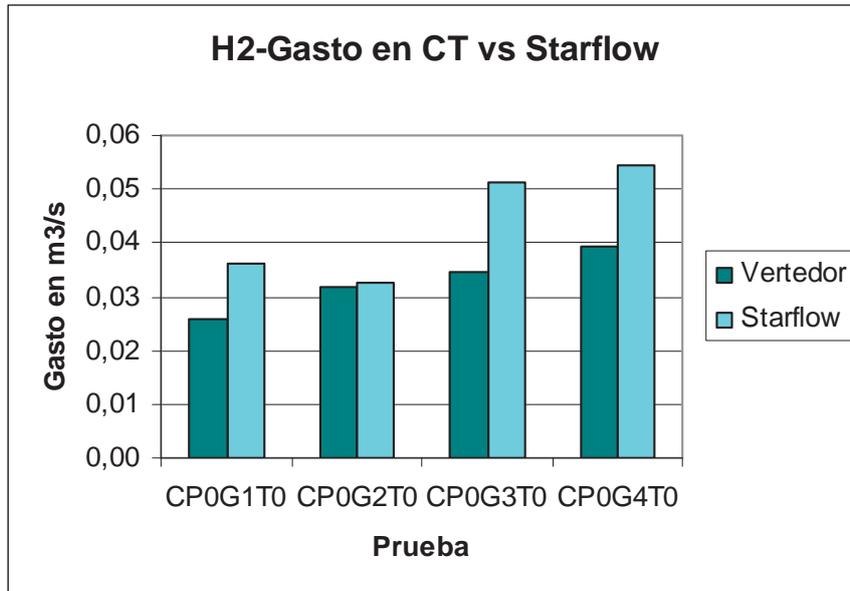


En la condición 3 la gráfica **G3**, muestra que el Starflow se mantuvo cercano a valores de vertedor y tubo de Prandtl. Este comportamiento es similar al de condiciones óptimas.

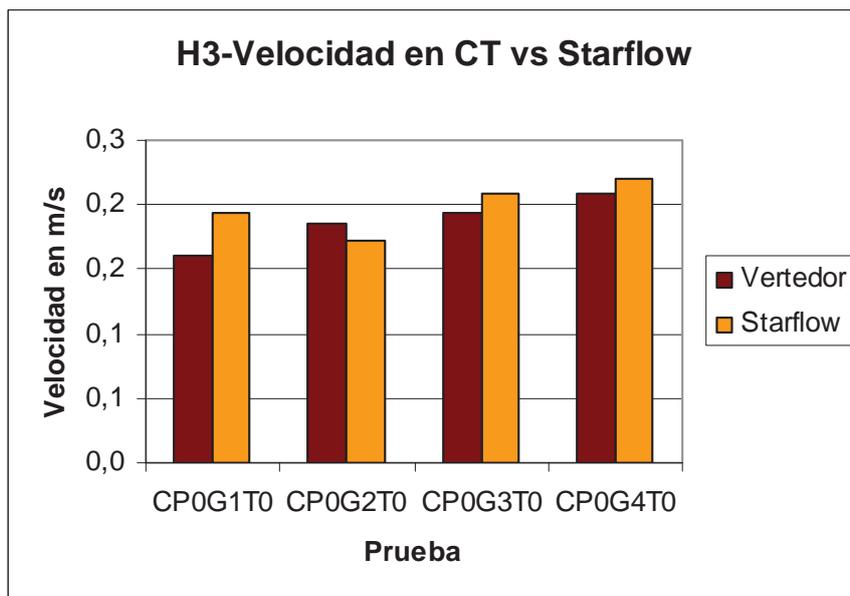
7.2.4.3.- Graficas de Tipo Barras de CT



En la gráfica **H1**, el Starflow presenta valores de tirante menores en pruebas de gastos 1 y 2, mientras que para gastos 3 y4, la media Starflow sobrepasa el método analítico.



De la gráfica **H2**, se aprecia la sobre predicción constante de la media Starflow para gasto sobre la obtenida con métodos analíticos.

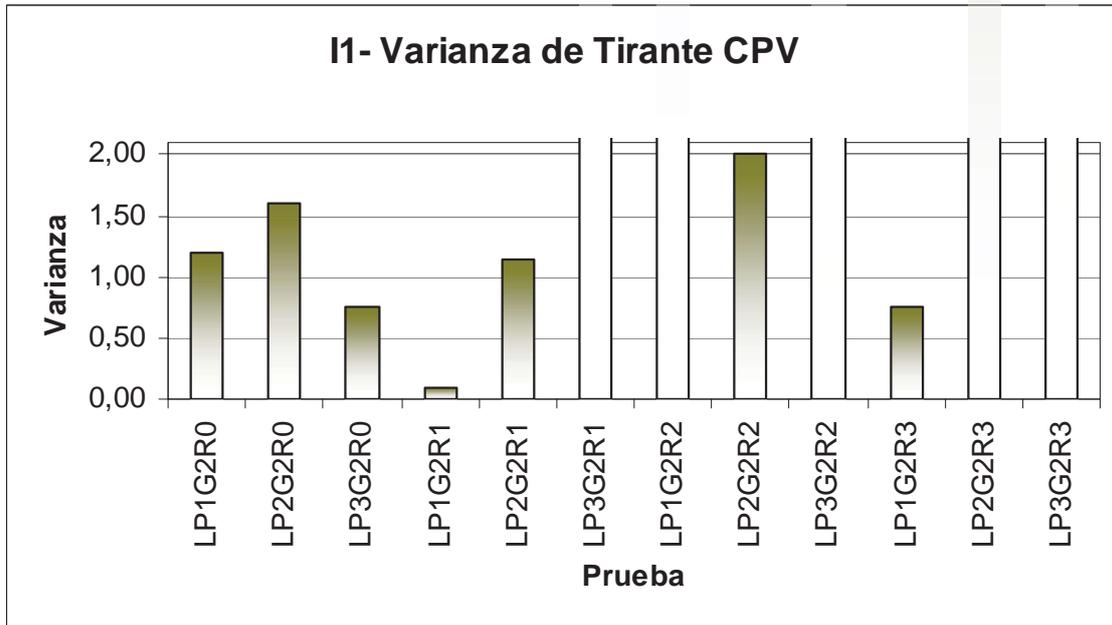


Gráfica **H3**. Aunque el Starflow mantiene una buena correlación de valores medios, no mantiene una tendencia constante a sobre predecir o subestimar la velocidad.

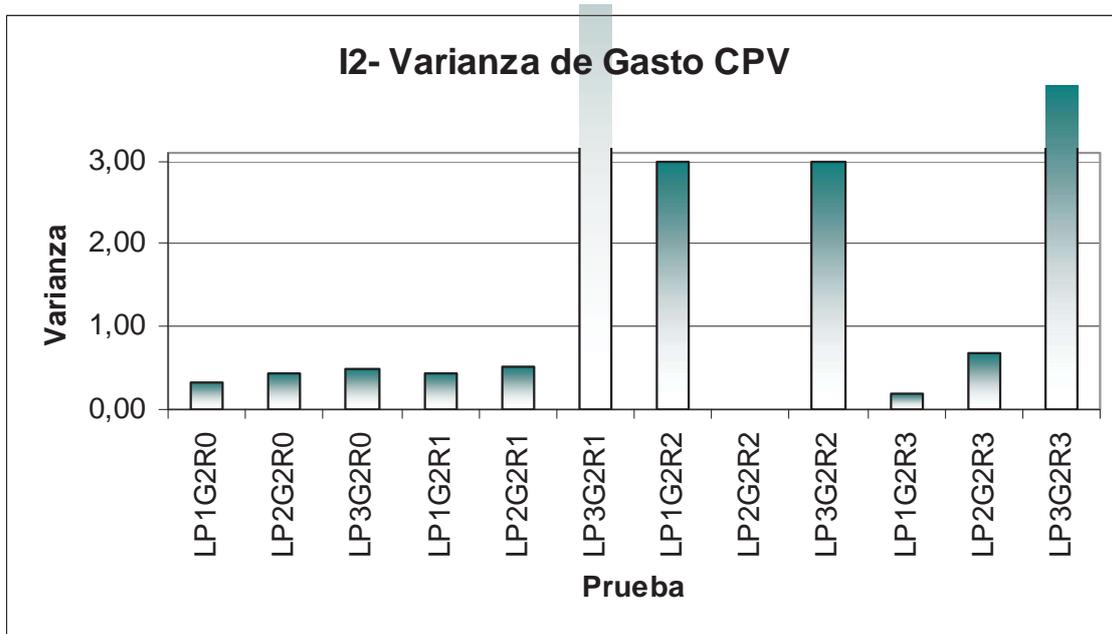
7.2.5.- Graficas de Varianza

En gráficas de varianza las barras se intensifican en color a medida que se acercan al valor máximo. Se uso esta configuración debido a la variabilidad en magnitud de los valores de la muestra.

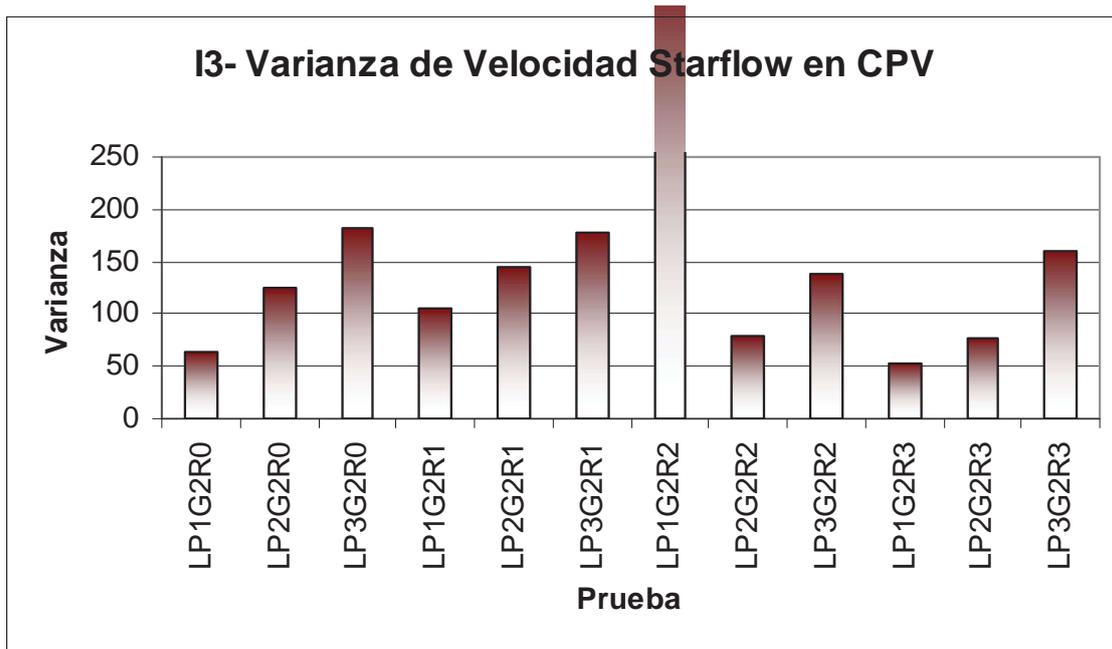
7.2.5.1.- Varianza de Pruebas Largas Starflow en CPV, en Condiciones 0,1,2 y 3



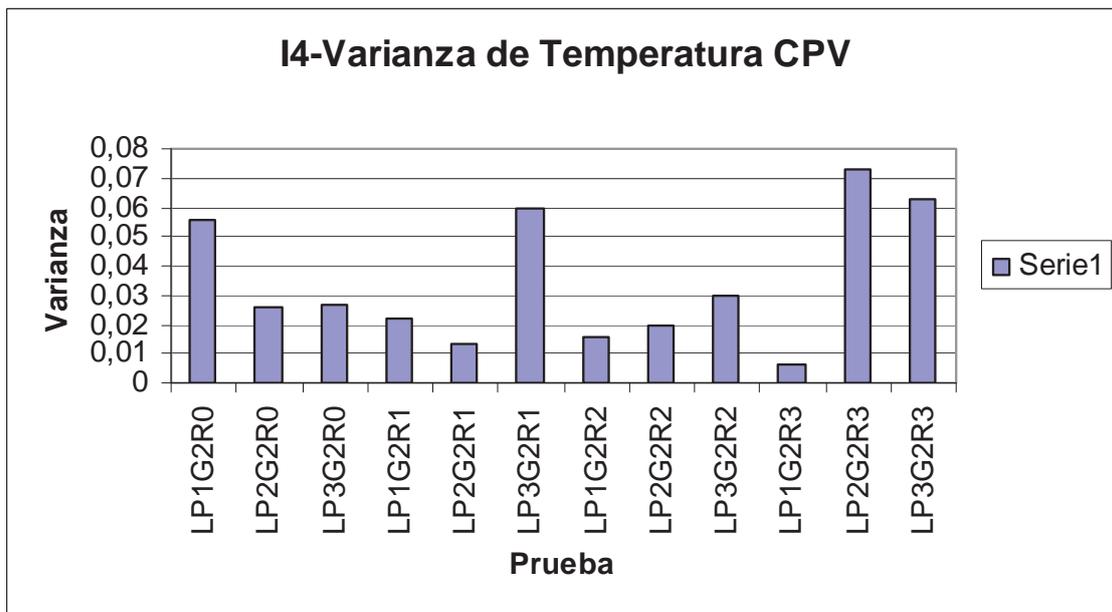
Gráfica **I1**. La varianza del tirante, se mantiene en un promedio aproximado de 1 para condición 0. Al variar las condiciones recomendadas, los promedios aumentan en forma considerable.



Gráfica **I2**. La varianza de gasto Starflow, mantiene un valor de varianza menor a la unidad en condiciones recomendadas. Para condiciones de instalación no recomendadas las varianzas no siguen una tendencia definida presentándose valores mayores a 3 e incluso 0.

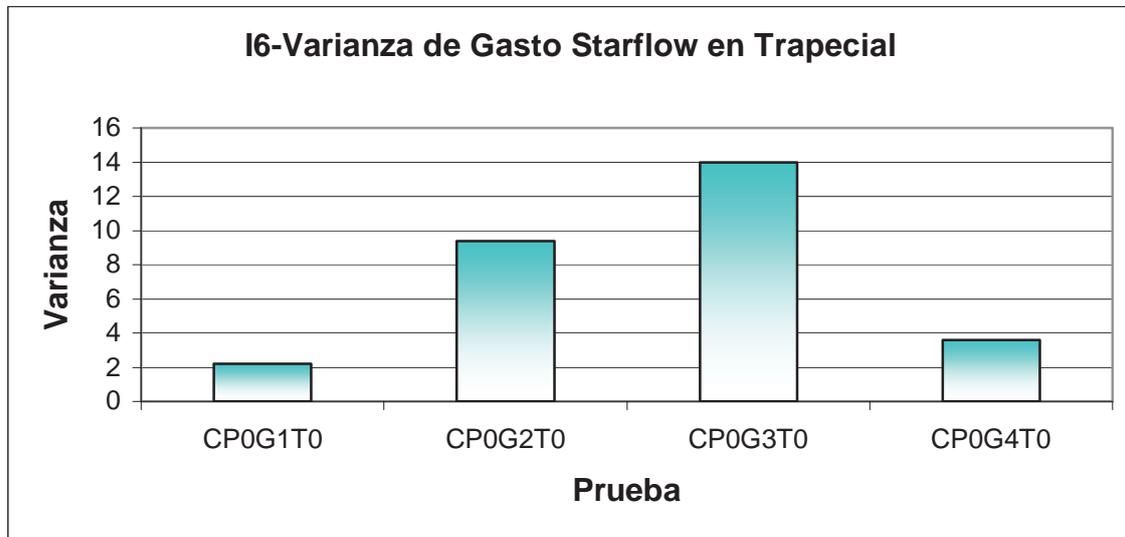


Gráfica I3. La varianza de velocidades en condición 3 es considerablemente mayor que en las otras tres condiciones, promediando un valor de 150 aproximadamente. Esto refleja la variabilidad del transductor de velocidad en esta condición.

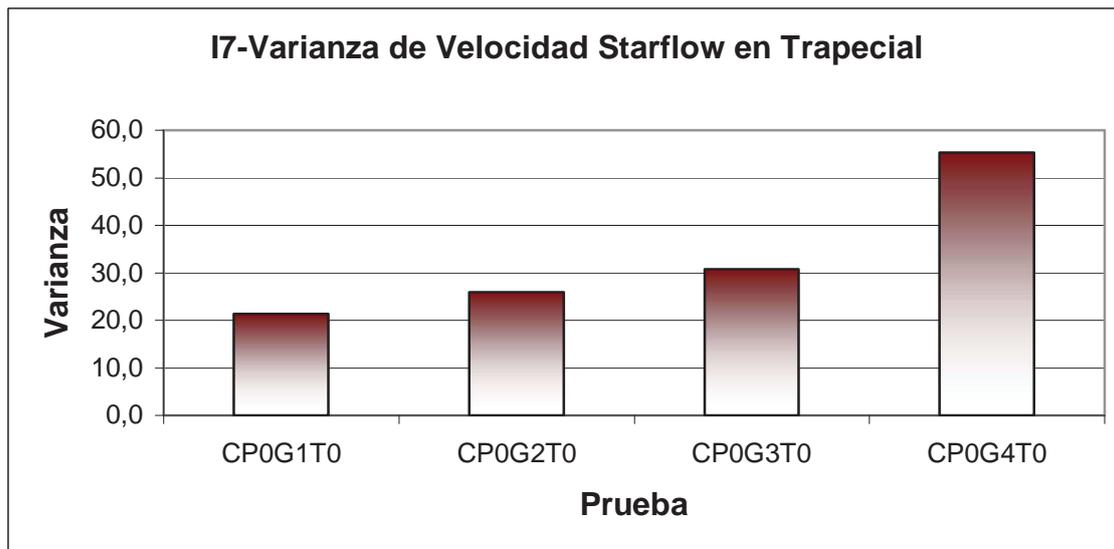


Gráfica I4. La varianza para temperatura es la menor de todas las condiciones y pruebas promediando valores de 0.04 aproximadamente.

7.2.5.2.- Varianza de Pruebas Cortas Starflow en CT



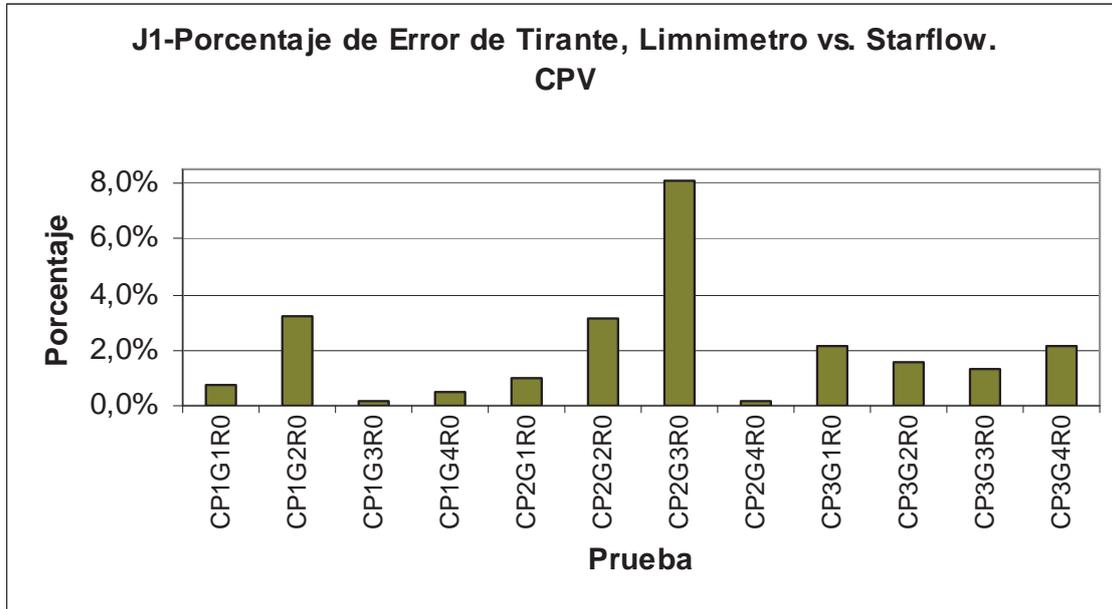
Gráfica I6. En esta grafica se aprecia como la varianza es mayor para las pruebas con gastos 2 y 3 y que aún cuando se mantienen las condiciones, el transductor de velocidad presenta un comportamiento errático.



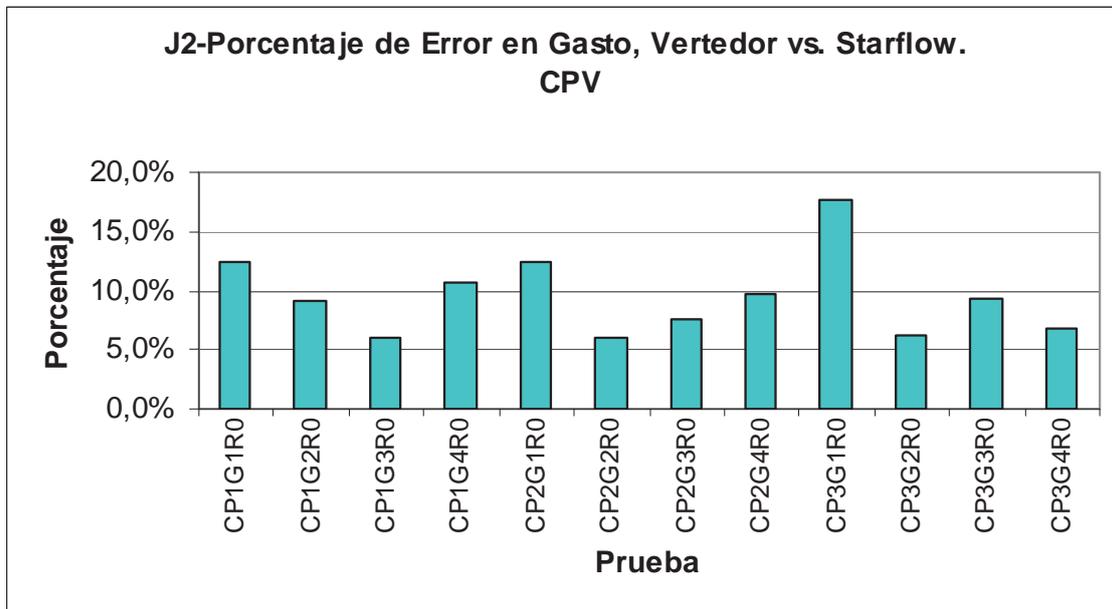
Gráfica I7. En esta gráfica la varianza de velocidad aumenta proporcionalmente al gasto.

7.2.6.- Gráficas de Porcentaje de Error

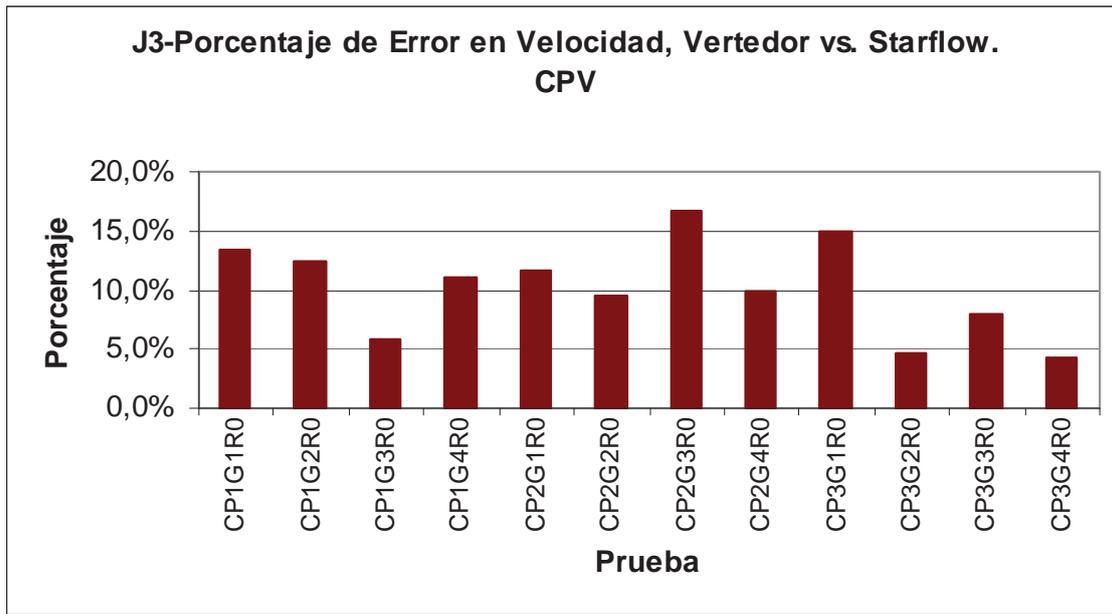
7.2.6.1.- Porcentaje de Error en Pruebas de Tiempo Corto de CPV en Condiciones Recomendadas



En la gráfica **J1** para porcentajes de error de tirante, el Starflow se mantiene en valores menores a 4% para condiciones recomendadas. Estos valores aumentan para las condiciones restantes.

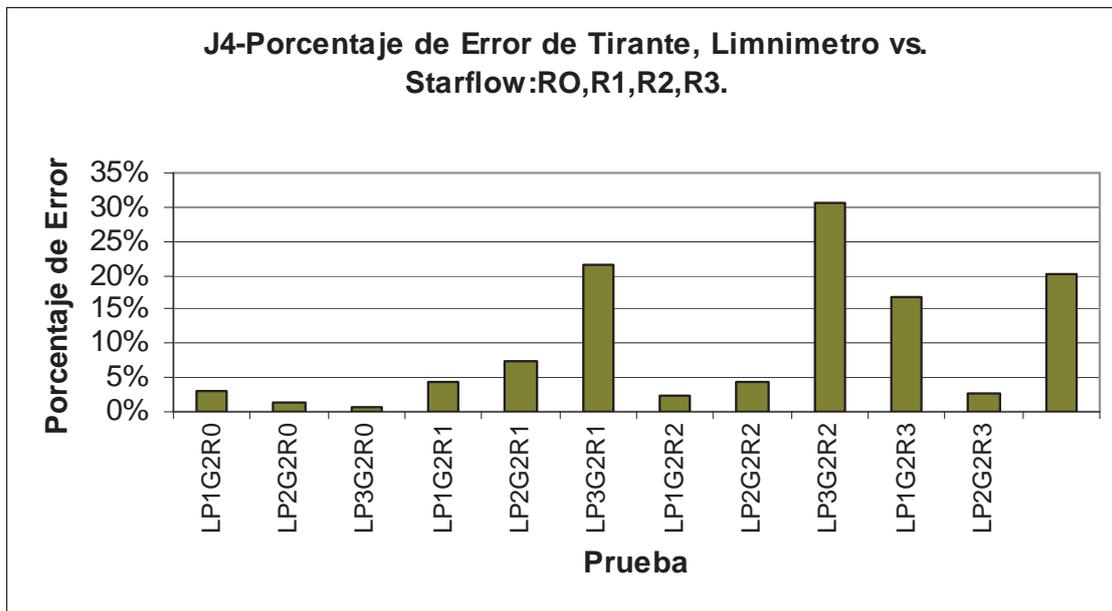


En la gráfica **J2**. El porcentaje de error en gasto, se mantiene en una media del 10% aproximadamente en condiciones recomendadas.

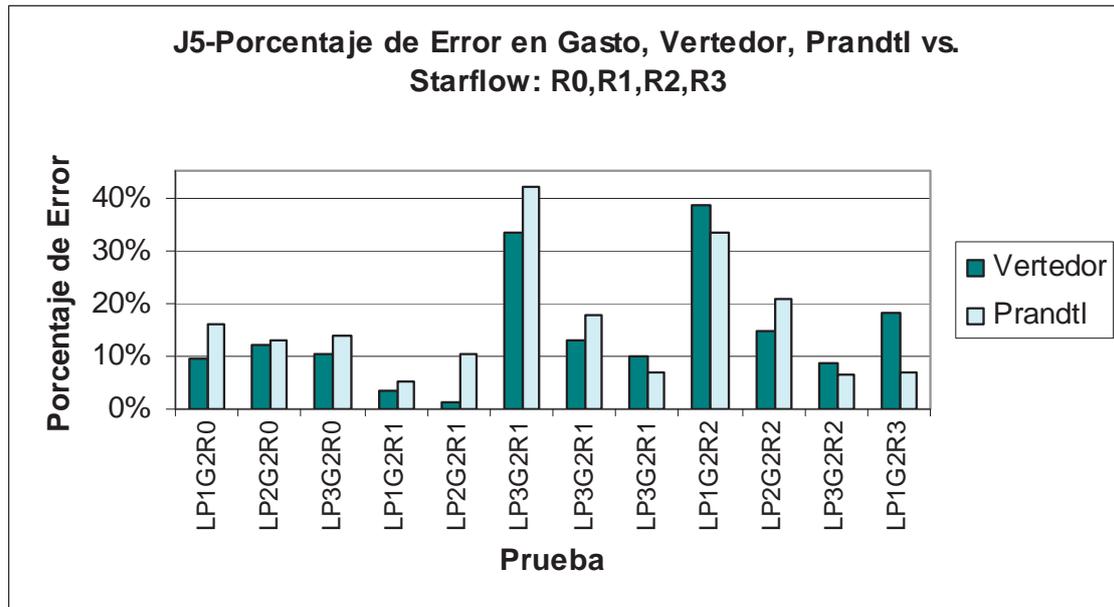


En la gráfica **J3** el porcentaje de error en condiciones recomendadas se mantiene en una media del 10% aproximado, para velocidad con diferentes gastos y pendientes.

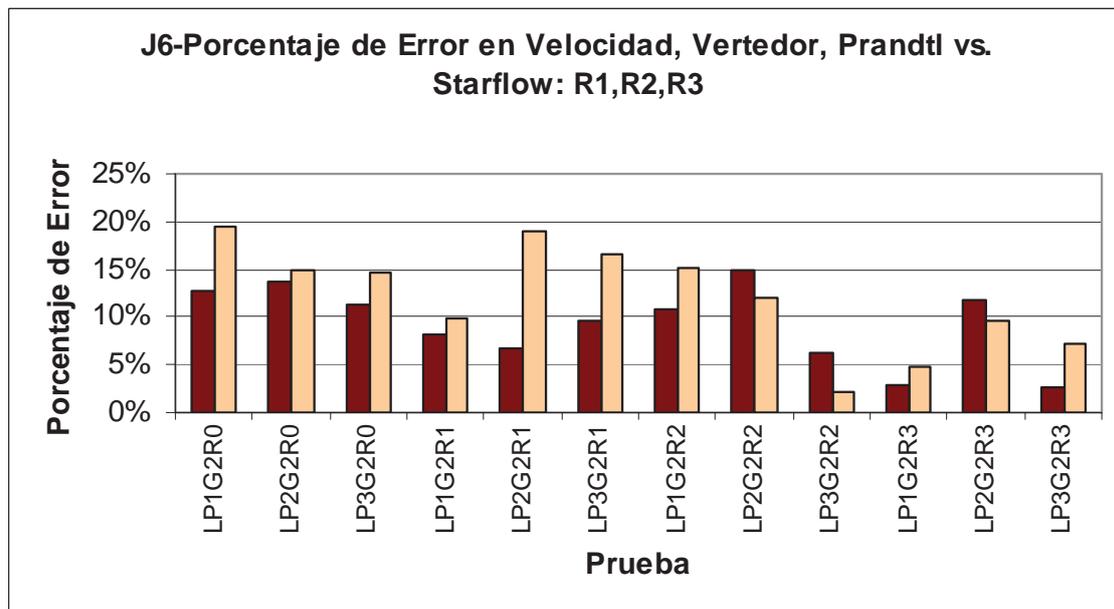
7.2.6.2.- Porcentaje de Error en Pruebas Largas de CPV en condiciones 0,1,2 y 3



En la gráfica **J4**, para pruebas de tiempo largo el porcentaje de error en tirante es menor para condiciones recomendadas, mientras que para condiciones no recomendadas ,aumenta hasta 30%.

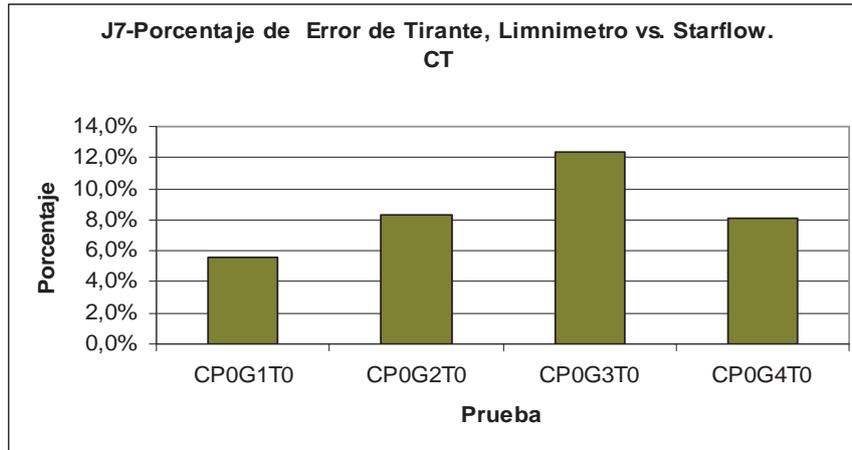


En la gráfica **J5**, se muestra el porcentaje de error comparado del vertedor y el tubo de Prandtl para valores de gasto. En esta el porcentaje de error para Prandtl es sensiblemente mayor en condiciones recomendadas. Para condiciones no recomendadas ocurren porcentajes menores.

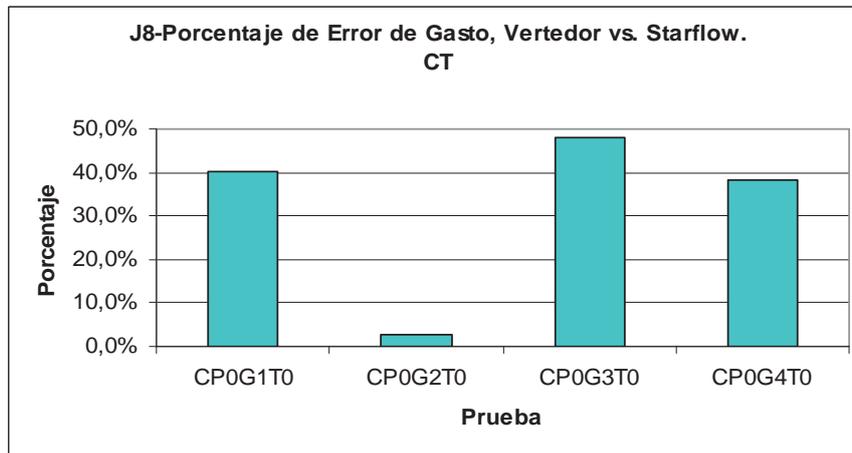


En la gráfica **J6**, se visualiza la comparación con el tubo de Prandtl y la velocidad derivada del vertedor. En esta la mayoría de las pruebas de porcentaje de error fue menor para el vertedor que para Prandtl. El promedio en porcentaje de error fue de alrededor de 10% y para Prandtl de 13%.

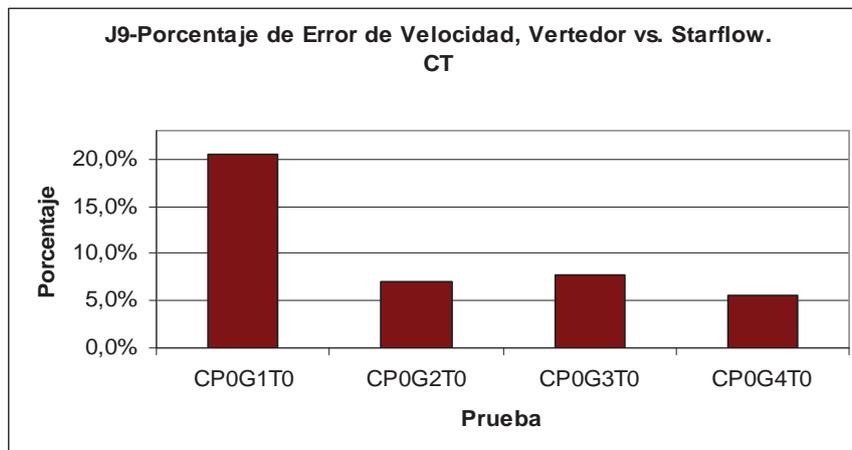
7.2.6.3.- Porcentaje de Error en Pruebas Cortas de CT



En la gráfica **J7**, el porcentaje de error en tirante se mantiene con una media de 8%. El valor máximo en trapecial es mayor, si se le compara con el valor promedio del rectangular.



En la gráfica **J8**, el porcentaje de error en gasto excede la media rectangular, ya que solo la prueba CP0G2T0 se mantiene por debajo del 10%, las otras pruebas promedian 40% de sobre predicción.



En la gráfica **J9**, el porcentaje de error en velocidad, es del 20% en la prueba CP0G1T0 y subsecuentemente los porcentajes se mantienen debajo del 10% en error. Esta condición demuestra que en velocidades bajas, aumenta el porcentaje de error.

7.3.- Tablas de Resultados

Tabla X1: Varianza mediciones obtenidas con medidor Starflow (canal rectangular, medidor bajo condiciones recomendadas y no recomendadas)

Código Pruebas	Tirante	Velocidad	Gasto	Temperatura
LP1G2R0	1.195	63.903	.328	.056
LP2G2R0	1.595	124.42	.434	.026
LP3G2R0	.763	181.909	.502	.027
Varianza Rect. c/condiciones. recomendadas situac. 0	1.184	123.144	.421	.036
LP1G2R1	.095	104.945	.445	.022
LP2G2R1	1.145	144.392	.515	.013
LP3G2R1	199.92	177.3	10.21	.06
Varianza Rect. s/condiciones. recomendadas situac. 1	67.053	142.212	3.723	.032
LP1G2R2	34	440.0	3.0	.016
LP2G2R2	2	80.0	.31	.02
LP3G2R2	55	139.0	3.0	.03
Varianza Rect. s/condiciones. recomendadas situac. 2	30.33	219.667	2.103	.022
LP1G2R3	.762	53.4	.194	.006
LP2G2R3	14.57	75.891	.693	.073
LP3G2R3	96.41	159.39	3.92	.063
Media Rect. s/condiciones. recomendadas situac. 3	37.24	96.229	1.6023	.04733

Tabla X2: % ERROR, Mediciones medias obtenidas con medidor Starflow frente a mediciones obtenidas con métodos analíticos (canal rectangular, medidor bajo condiciones recomendadas)

Código Prueba	Tirante %	Velocidad %	Gasto %
CP1G1R0	.733	13.4	12.4
CP1G2R0	3.204	12.4	9.1
CP1G3R0	.197	5.8	6.1
CP1G4R0	.51	11.2	10.7
CP2G1R0	1.0	5.8	12.5
CP2G2R0	3.145	9.6	6.1
CP2G3R0	8.109	16.7	7.6
CP2G4R0	.189	9.9	9.6
CP3G1R0	2.143	15.0	17.7
CP3G2R0	1.58	4.7	6.2
CP3G3R0	1.334	8.0	9.3
CP3G4R0	2.163	4.3	6.7
Media Rect. c/condiciones. recomendadas	2.0	10.2	9.5

Tabla Y1: % ERROR, Mediciones medias obtenidas con medidor Starflow frente a mediciones obtenidas con métodos analíticos (canal trapezoidal, medidor bajo condiciones recomendadas)

Código Prueba	Tirante %	Velocidad %	Gasto %
CP0G1T0	5.570	20.5	40.3
CP0G2T0	8.301	7.0	2.9
CP0G3T0	12.389	7.7	47.9
CP0G4T0	8.079	5.5	38.2
Media Trapez. c/condiciones. recomendadas	8.6	10.2	32.3

Tabla X3: % ERROR, Mediciones medias obtenidas con medidor Starflow frente a mediciones obtenidas con métodos analíticos (canal rectangular, medidor bajo condiciones recomendadas y no recomendadas)

Código Pruebas	Tirante %	Velocidad %	Gasto %
LP1G2R0	3.2	12.8	9.6
LP2G2R0	1.4	13.7	12.2
LP3G2R0	0.7	11.2	10.4
Media Rect. c/condiciones. recomendadas	1.7	12.6	10.7
LP1G2R1	4.2	8.1	3.4
LP2G2R1	7.6	6.7	1.2
LP3G2R1	21.6	9.7	33.3
Media Rect. s/condiciones. recomendadas situac. 1	11.1	8.2	12.6
LP1G2R2	2.3	10.8	13.1
LP2G2R2	4.4	14.9	9.8
LP3G2R2	30.6	6.2	38.6
Media Rect. s/condiciones. recomendadas situac. 2	12.4	10.6	20.5
LP1G2R3	16.9	2.8	14.6
LP2G2R3	2.8	11.8	8.6
LP3G2R3	20.1	2.8	18.2
Media Rect. s/condiciones. recomendadas situac. 3	13.3	5.8	13.8

Tabla X4: % ERROR, Mediciones medias obtenidas con medidor Starflow bajo condiciones recomendadas frente a mediciones medias obtenidas con medidor Starflow bajo condiciones no recomendadas.

Código Pruebas	Tirante %	Velocidad %	Gasto %
LP1G2R1	0.9	5.6	5.1
LP2G2R1	5.1	3.2	7.4
LP3G2R1	26.3	5.0	32.6
Media Rect. s/condiciones. recomendadas situac. 1	10.8	4.6	15.1
LP1G2R2	6.6	0.5	6.8
LP2G2R2	3.0	0.3	3.4
LP3G2R2	30.7	0.8	29.6
Media Rect. s/condiciones. recomendadas Situac. 2	13.4	0.6	13.3
LP1G2R3	13.6	13.7	25.6
LP2G2R3	0.5	0.2	0.9
LP3G2R3	22.3	4.3	12.3
Media Rect. s/condiciones. recomendadas Situac. 3	12.2	6.0	12.9

8.-CONCLUSIONES

8.1.- Conclusiones Obtenidas de los Esquemas Realizados

1. Esquemas de Tiempo Corto en Canal Rectangular

- **Velocidad:** El Starflow presento una sobreestimación constante de 10.2% en porcentaje de error en velocidad, comparado con el valor de referencia obtenido con medios analíticos. Este porcentaje ocurre en el canal rectangular y trapecial con la instalación del aparato en condiciones óptimas. El tipo de flujo en estos canales se denominó como turbulento sub-crítico y estable. Este mismo porcentaje se mantuvo aún cuando el flujo presento oleaje y líneas de corriente en la superficie. Estas condiciones se hicieron presentes en el canal rectangular con pendiente .066 y gasto de 35lt/s y 40 lt/s.
- **Gasto :** Para condiciones optimas de instalación el gasto calculado mostró una sobre predicción constante en porcentaje de error de 9.5% para canal rectangular y 32.3% para canal trapecial.
- **Tirante:** El porcentaje medio de error para tiempo corto fue de en promedio 2%. Este porcentaje varia de valores de -8.1% y 2.16% lo que compromete su confiabilidad.

2. Esquemas de Tiempo Largo en Canal Rectangular

- **Porcentajes en Tirantes para R0,R1,R2 y R3:** En pruebas de tiempo largo el Starflow mostró una tendencia continua a subestimar el gasto en un porcentaje de error en promedio de -1.7% comparado con métodos analíticos. Para la condición R1(Alejado del canal), este porcentaje varía hasta 11.1% comparado con medios analíticos. Variar la condición a R2 (5 grados del eje longitudinal) representa un aumento de 12.4% de error comparado con medios analíticos. Variar la condición a R3 (5 grados de la horizontal) aumenta el porcentaje de error a 13.3% comparado con medios analíticos.

Aún cuando el porcentaje de error para gasto aumento de 9.5% a 10.7% comparando tiempo corto vs. tiempo largo; el segundo porcentaje de error goza de mayor confiabilidad, debido a que el porcentaje de error en tirante se uniformiza en las pruebas de tiempo largo, cosa que no ocurre en pruebas de tiempo corto.

- **Porcentajes en Velocidad R0,R1,R2 y R3:** Para pruebas de tiempo largo el porcentaje de error para velocidad aumento de 10.2% a 12.6%, comparado con pruebas cortas. Este porcentaje se distribuye uniformemente a lo largo de toda la prueba. Estos dos porcentajes son comparados con los medios analíticos. Variar a condición 1 representa una disminución a 8.6% en porcentaje de error. Variar a condición 2 representa un aumento del porcentaje de 10.2% a 10.6%. Variar a condición 3 represento una disminución drástica de 10.2% a 5.8%

- **Porcentajes en Gasto Calculado para R0,R1,R2 y R3:** Para pruebas de tiempo largo el Starflow registro un aumento de porcentaje de error en gasto calculado, comparado con tiempo corto de 9.5% a 10.7%. Estos dos comparados con métodos analíticos. Variar las condiciones de instalación optimas a R1, representa un aumento a 12.6% de error. Variar a condición R2, representa un aumento drástico a 20.5% de error. Variar a condición R3, representa un aumento a 15.8% de error.

El instrumento más confiable del Starflow en pruebas de tiempo largo fue el de velocidad ya que al variar las condiciones de instalación reflejo errores menores, comparando valores de condiciones optimas contra R1,R2 y R3.

3. Esquemas en Canal Trapecial

- **Tirante:** El porcentaje de error en tirante para sección trapecial varia de - 5.5% a 12.38% con una media de 8.6%. El valor medio es menor si se compara con rectangular en condiciones similares. La presencia de diversos porcentajes de error en tirantes refleja que el cambio de sección si afecta al transductor de profundidad. Comparando porcentajes de error medios de trapecial contra rectangular se obtiene una diferencia de 6.6% mayor en trapecial.
- **Velocidad:** El valor medio en porcentaje de error para velocidad es idéntico comparado con canal rectangular en condiciones similares para pruebas de tiempo corto.
- **Gasto:** Para canal trapecial el porcentaje de error en gasto refleja un aumento a 32.3% que es mayor comparado con el porcentaje obtenido en rectangular.

8.2.-Recomendaciones y Comentarios:

1. Instalación

- Cada sitio de instalación requiere de la verificación de la totalidad de los instrumentos que se pretendan utilizar.
- Para condición en régimen turbulento el porcentaje de error aumento en comparación con el señalado por el fabricante, sin embargo fue consistente en condiciones óptimas de instalación. Es por esto que el uso de los porcentajes presentados en esta investigación debe tener en cuenta el tipo de régimen donde se desarrollan las pruebas.
- Si se modifican las condiciones de instalación recomendadas se deben esperar porcentajes de error variados, esto refleja la alta sensibilidad del Starflow a medir velocidades fuera del espectro que esta programado para medir.

- La totalidad de las pruebas se realizaron con agua potable libre de partículas en suspensión. Si se desea utilizar el Starflow en aguas con partículas en suspensión los porcentajes presentados en esta investigación se verán comprometidos. Si se desea utilizar el aparato en este tipo de flujos se deberá hacer una corrección en la ventana de instrumentos en la opción de velocidad, donde el usuario puede predeterminar la viscosidad del fluido que se pretende medir.
- La totalidad de las pruebas se realizaron con el instrumento dirigido hacia aguas arriba, si se utiliza de otra forma los coeficientes se verán afectados.

2. Transductores

- Una conclusión importante del universo de pruebas es que si bien en condiciones óptimas los transductores de velocidad, temperatura y profundidad presentan valores bajos en porcentajes de error, el único transductor que no mantiene un comportamiento predecible es el de profundidad. Este transductor causa en gran parte las sobreestimaciones en gasto por considerar áreas más grandes o pequeñas que las reales.
- Los valores de velocidad y temperatura presentan tendencias definidas a lo largo de las pruebas. Derivado de esto la variable que internamente calcula el Starflow: el gasto, al igual que estas dos se comporta de manera predecible.
- Aún cuando el gasto se deriva de un manejo interno de velocidad-tirante, y los valores de tirante presenten picos y descensos a lo largo de una prueba; el gasto mantuvo un porcentaje de error predecible en condiciones de instalación óptimas.

3. Ventajas y Desventajas

- Ninguna calibración es totalmente válida para diferentes sitios si se desea un alto grado de certidumbre.
- El Starflow probablemente requiera de un sitio especial de instalación si se desea mejorar su exactitud. Esto requerirá una inversión adicional al costo del aparato.
- La calibración o uso de algún porcentaje para aumentar la exactitud debe ser única para un sitio de instalación y únicamente puede ser realizada por parte de usuario, con una hoja de cálculo o procesador de datos.
- El Starflow mostró ser lo bastante resistente para soportar el empuje del flujo y presiones de la columna de agua así como versatilidad para poder instalado con facilidad en el fondo de canales pequeños, donde la utilización de otro tipo de instrumentos sería compleja o inadmisibles.
- Es una buena opción de instrumento de medición de flujo que permite al unísono, digitalizar valores de velocidad, temperatura, gasto, velocidad y área

aun costo accesible. Sin embargo si se desea adquirir se debe tomar en cuenta el costo adicional de calibración. Este costo aumentará según el número de sitios donde se desee utilizar.

- Para utilizar el Starflow en canales de un ancho considerable, deberá fabricarse un dispositivo adicional que permita ser instalado y desinstalado con facilidad, este se recomienda se realice en un puente o cruce.
- El cable de conexión al ordenador requiere de mantenimiento constante, porque el transductor de profundidad esta conectado a la atmósfera por medio de un tubo de ventilación, que contiene silica para absorber la humedad. Cuando la silica esta completamente húmeda (color rosa) no se podrá confiar en las mediciones de tirante además de que el cable puede sufrir desperfectos por la humedad. Para reutilizar la silica se coloca en un horno de vacío a 100°C durante tres horas, esta es otra limitante que además representa otro gasto adicional.
- El manual Starflow pone especial atención en que en el sitio de instalación se presente flujo de tipo laminar. Es en esta condición que se espera, ocurran los porcentajes de error señalados por el fabricante. Esta condición es difícil de lograr en canales abiertos y aún en laboratorio.

BIBLIOGRAFÍA

- **V. Giles, Ranald et.al. “Mecánica de los Fluidos e Hidráulica” (1999). Ed. Mc. Graw Hill, tercera edición. Madrid, España.**
- **Matthias Altendorf et.al. “Medición de Caudal” (2005), Ed. Endress + Hausen, 1ª Edición Española. Barcelona, España.**
- **“User´s Manual, Versión 3 Software” (1998). Impreso en Australia a cargo de la compañía Unidata.**
- **“Medidor de Gasto de Efecto Doppler para Canales” de la serie autodidáctica de medición. Impreso por IMTA. Elaboración por CNA, IMTA.**
- **WWW.UNIDATA.COM**
- **www.itrc.com**
- **http://www.signal-procesing.com**
- **www.wikipedia.com**
- **http://www.geocities.com/jalarab/cap7.html**

9.- ANEXOS

9.1.- Tablas

Parámetros de Pruebas

C	Prueba Corta	G1	Gasto 1, $Q=0.025 \text{ m}^3/\text{s}$	P1-Pendiente 1, $So=0.0001$
L	Prueba Larga	G2	Gasto 2, $Q=0.030 \text{ m}^3/\text{s}$	P2-Pendiente 2, $So=0.003$
R	Canal Rectangular	G3	Gasto 3, $Q=0.035 \text{ m}^3/\text{s}$	P3-Pendiente 3, $So=0.006$
T	Canal Trapezoidal			
0	Condición recomendada del medidor			
1	Condición no recomendada del medidor, paralelo al eje			
2	Condición no recomendada del medidor, en el eje, inclinado vertical			
3	Condición no recomendada del medidor, en el eje, inclinado horizontal			

Tabla 9.1.-Tirante Normal

Lectura Inicial Limnómetro 1, canal rectangular, cm., (LIL1)	14,71
Lectura Inicial Limnómetro 2, canal rectangular, cm. (LIL2)	13,37
Dist. Carga Pos. 1 y Carga Pos. 2, canal rectangular, $So=0$, m, (D)	690,00
Lectura I. Carga Pos.1 plantilla canal rectangular, $So=0$, m, (LICP1)	152,80
Lectura I. Carga Pos. 2 plantilla canal rectangular, $So=0$, m, (LICP2)	152,80
Plantilla Canal Rectangular, m (b)	0,30
Lectura Inicial Limnómetro 1, canal trapezoidal, cm., (LIL1)	12,35
Lectura Inicial Limnómetro 2, canal trapezoidal, cm., (LIL2)	12,41
Dist. Carga Pos. 1 y Carga Pos. 2, canal trapezoidal, m, (D)	1,50
Lectura I. Carga Pos.1 plantilla canal trapezoidal, m, (LICP1)	0,00
Lectura I. Carga Pos. 2 plantilla canal trapezoidal, m, (LICP2)	0,00
Plantilla Canal Trapezoidal, m (b)	0,49
Talud Canal Trapezoidal (z)	0,7

DATOS PARTICULARES						CALCULOS PARTICULARES				
Prueba	Lectura F	Lectura F	Lectura F	Tirante	Tirante	Pendiente Plantilla Canal So	Tirante	Tirante	Tirante	Area Hidráulica A (m2)
	Limnómetro	Limnómetro	Carga P 2	1	2		Normal	Normal	Normal	
	1	2	Plantilla Can.				1	2	Promedio	
	LFL1 (cm.)	LFL2 (cm.)	LFCP2 (m)	y1 (cm.)	y2(cm.)		yn1 (cm.)	yn2 (cm.)	yn (m)	
CP1G1R0	35,13	33,85	152,70	20,42	20,48	0,0001	20,42	20,48	0,2045	0,0613
CP1G2R0	36,31	35,78	152,70	21,60	22,41	0,0001	21,60	22,41	0,2200	0,0660
CP1G3R0	37,69	36,10	152,70	22,98	22,73	0,0001	22,98	22,73	0,2285	0,0686
CP1G4R0	39,08	38,05	152,70	24,37	24,68	0,0001	24,37	24,68	0,2452	0,0736
CP2G1R0	33,68	31,43	150,50	18,97	18,06	0,0033	18,97	18,06	0,1851	0,0555
CP2G2R0	35,18	32,96	150,50	20,47	19,59	0,0033	20,47	19,59	0,2003	0,0601
CP2G3R0	36,08	35,53	150,50	21,37	22,16	0,0033	21,37	22,16	0,2176	0,0653
CP2G4R0	37,46	35,51	150,50	22,75	22,14	0,0033	22,75	22,13	0,2244	0,0673
CP3G1R0	31,87	28,91	148,50	17,16	15,54	0,0062	17,16	15,54	0,1635	0,0490
CP3G2R0	33,98	30,93	148,50	19,27	17,56	0,0062	19,27	17,56	0,1841	0,0552

CP3G3R0	34,70	31,67	148,50	19,99	18,30	0,0062	19,99	18,30	0,1914	0,0574
CP3G4R0	35,84	32,96	148,50	21,13	19,59	0,0062	21,13	19,59	0,2036	0,0611
CP1G3R1	37,48	35,92	152,70	22,77	22,55	0,0001	22,77	22,55	0,2266	0,0680
CP2G3R1	35,75	34,06	150,50	21,04	20,69	0,0033	21,04	20,69	0,2086	0,0626
CP3G3R1	34,08	31,59	148,50	19,37	18,22	0,0062	19,37	18,22	0,1879	0,0564
CP1G3R2	37,3	36,64	152,7	22,59	23,27	0,0001	22,59	23,27	0,2293	0,0688
CP2G3R2	35,62	34,04	150,50	20,91	20,67	0,0033	20,91	20,67	0,2079	0,0624
CP3G3R2	34,05	31,71	148,50	19,34	18,34	0,0062	19,34	18,34	0,1884	0,0565
CP1G3R3	38,10	36,39	152,70	23,39	23,02	0,0001	23,39	23,02	0,2320	0,0696
CP2G3R3	33,93	35,90	150,50	19,22	22,53	0,0033	19,22	22,53	0,2087	0,0626
CP3G3R3	34,67	34,77	148,50	19,96	21,40	0,0062	19,96	21,40	0,2068	0,0620
LP1G2R0	36,31	35,78	152,70	21,60	22,41	0,0001	21,60	22,41	0,2200	0,0660
LP2G2R0	35,00	33,04	150,50	20,29	19,67	0,0033	20,29	19,67	0,1998	0,0599
LP3G2R0	33,59	30,54	148,50	18,88	17,17	0,0062	18,88	17,17	0,1802	0,0541
LP1G2R1	36,97	36,02	152,70	22,26	22,65	0,0001	22,26	22,65	0,2245	0,0674
LP2G2R1	35,33	33,21	150,50	20,62	19,84	0,0033	20,62	19,84	0,2023	0,0607
LP3G2R1	34,03	31,21	148,50	19,32	17,84	0,0062	19,32	17,84	0,1858	0,0557
LP1G2R2	36,78	35,71	152,70	22,07	22,34	0,0001	22,07	22,34	0,2220	0,0666
LP2G2R2	35,00	33,04	150,50	20,29	19,67	0,0033	20,29	19,67	0,1998	0,0599
LP3G2R2	33,33	30,60	148,50	18,62	17,23	0,0062	18,62	17,23	0,1792	0,0538
LP1G2R3	36,63	35,72	152,70	21,92	22,35	0,0001	21,92	22,35	0,2213	0,0664
LP2G2R3	35,44	33,38	150,50	20,73	20,01	0,0033	20,73	20,01	0,2037	0,0611
LP3G2R3	33,59	30,96	148,50	18,88	17,59	0,0062	18,88	17,59	0,1823	0,0547
CPOG1T0	36,66	37,03		24,31	24,62	0,0001			0,2447	0,1618
CPOG2T0	37,81	38,02		25,46	25,61	0,0001			0,2554	0,1708
CPOG3T0	38,80	38,99		26,45	26,58	0,0001			0,2652	0,1791
CPOG4T0	39,97	40,12		27,62	27,71	0,0001			0,2767	0,1891

Tabla 9.2.-Gasto y Velocidad

Altura Vertedero Rehbock, m, (w)	0,46
Lectura Inicial Limnómetro en V. Rehbock, cm., (LILR)	30,92
Plantilla canal del Vertedero Rehbock, m, (b)	0,63
Condiciones Vertedor Rehbock	
Condición 1: $w > 0.06$ m	CUMPLE
Condición 2: 0.01 m $< h < 0.8$ m	c/prueba
Condición 3: $h/w < 1$	c/prueba
Altura Vertedero Triangular, m, (w)	
Lectura Inicial Limnómetro en V. Triangular, cm., (LILT)	18,63
Plantilla canal del Vertedero Triangular, m, (b)	
Condiciones Vertedor Triangular	

DATOS PARTICULARES			CALCULOS PARTICULARES					
Prueba	Lectura F Limnómetro Vertedero		Condición 2	Condición 3	μ	Gasto	Area Hidráulica	Velocidad
	LFL1	h (m)				Q (m ³ /s)	A (m ²)	V (m/s)
CP1G1R0	38,69	0,078	CUMPLE	CUMPLE	0,6202	0,0250	0,0613	0,4073
CP1G2R0	39,66	0,087	CUMPLE	CUMPLE	0,6218	0,0299	0,0660	0,4527
CP1G3R0	40,66	0,10	CUMPLE	CUMPLE	0,6234	0,0353	0,0686	0,5142
CP1G4R0	41,69	0,11	CUMPLE	CUMPLE	0,6251	0,0411	0,0736	0,5587
CP2G1R0	38,76	0,078	CUMPLE	CUMPLE	0,6203	0,0253	0,0555	0,4561
CP2G2R0	39,91	0,09	CUMPLE	CUMPLE	0,6222	0,0312	0,0601	0,5192
CP2G3R0	40,33	0,09	CUMPLE	CUMPLE	0,6229	0,0334	0,0653	0,5123
CP2G4R0	41,81	0,11	CUMPLE	CUMPLE	0,6253	0,0418	0,0673	0,6205
CP3G1R0	38,62	0,08	CUMPLE	CUMPLE	0,6201	0,0246	0,0490	0,5025
CP3G2R0	40,38	0,09	CUMPLE	CUMPLE	0,6229	0,0337	0,0552	0,6104
CP3G3R0	40,92	0,10	CUMPLE	CUMPLE	0,6238	0,0367	0,0574	0,6390
CP3G4R0	41,92	0,11	CUMPLE	CUMPLE	0,6255	0,0425	0,0611	0,6951
CP1G3R1	40,65	0,0973	CUMPLE	CUMPLE	0,6234	0,0352	0,0680	0,5178
CP2G3R1	40,62	0,097	CUMPLE	CUMPLE	0,6233	0,0350	0,0626	0,5597
CP3G3R1	40,60	0,0968	CUMPLE	CUMPLE	0,6233	0,0349	0,0564	0,6194
CP1G3R2	40,57	0,0965	CUMPLE	CUMPLE	0,6233	0,0348	0,0688	0,5053

CP2G3R2	40,46	0,0954	CUMPLE	CUMPLE	0,6231	0,0342	0,0624	0,5476
CP3G3R2	40,45	0,0953	CUMPLE	CUMPLE	0,6231	0,0341	0,0565	0,6034
CP1G3R3	40,67	0,0975	CUMPLE	CUMPLE	0,6234	0,0353	0,0696	0,5072
CP2G3R3	40,66	0,0974	CUMPLE	CUMPLE	0,6234	0,0353	0,0626	0,5629
CP3G3R3	40,66	0,0974	CUMPLE	CUMPLE	0,6234	0,0353	0,0620	0,5683
LP1G2R0	40,14	0,0922	CUMPLE	CUMPLE	0,6225	0,0324	0,0660	0,4912
LP2G2R0	39,90	0,0898	CUMPLE	CUMPLE	0,6222	0,0311	0,0599	0,5196
LP3G2R0	39,85	0,0893	CUMPLE	CUMPLE	0,6221	0,0309	0,0541	0,5711
LP1G2R1	40,17	0,0925	CUMPLE	CUMPLE	0,6226	0,0326	0,0674	0,4837
LP2G2R1	40,17	0,0925	CUMPLE	CUMPLE	0,6226	0,0326	0,0607	0,5369
LP3G2R1	40,41	0,0949	CUMPLE	CUMPLE	0,6230	0,0339	0,0557	0,6079
LP1G2R2	40,34	0,0942	CUMPLE	CUMPLE	0,6229	0,0335	0,0666	0,5029
LP2G2R2	39,82	0,089	CUMPLE	CUMPLE	0,6220	0,0307	0,0599	0,5126
LP3G2R2	40,04	0,0912	CUMPLE	CUMPLE	0,6224	0,0319	0,0538	0,5930
LP1G2R3	39,85	0,0893	CUMPLE	CUMPLE	0,6221	0,0309	0,0664	0,4651
LP2G2R3	40,13	0,0921	CUMPLE	CUMPLE	0,6225	0,0324	0,0611	0,5297
LP3G2R3	40,13	0,0921	CUMPLE	CUMPLE	0,6225	0,0324	0,0547	0,5917
CPOG1T0	38,59					0,0259	0,1618	0,1601
CPOG2T0	40,31					0,0318	0,1708	0,1861
CPOG3T0	41,11					0,0347	0,1791	0,1940
CPOG4T0	42,29					0,0394	0,1891	0,2085

Tabla 9.3.-Velocidad y Gasto de Prandtl

Constante "C" = 0,28

Formula 4.4 para Velocidad Media

Prueba	DATOS PARTICULARES			CALCULOS PARTICULARES		
	Lecturas h en manómetro			Velocidad	Area	Gasto
	1/3 Fondo cm.	Centro cm.	1/3 de Sup cm.	Media	Hidráulica	
CP1G2R1	8	15	15,00	V (m/s) 0,4480	A (m2) 0,0680	Q (m3/s) 0,0305
CP2G2R1	6	10	13,00	0,3838	0,0626	0,0240
CP3G2R1	9	9	14,00	0,3951	0,0564	0,0223
CP1G2R2	13	14	15,00	0,4639	0,0688	0,0319
CP2G2R2	16	13	19,00	0,4828	0,0624	0,0301
CP3G2R2	17	19	23,00	0,5468	0,0565	0,0309
CP1G3R3	15	19	20,00	0,5291	0,0696	0,0368
CP2G3R3	26	24	22,00	0,6073	0,0626	0,0380
CP3G3R3	26	24	22,00	0,6073	0,0620	0,0377
LP1G2R0	14	14	14,00	0,4641	0,0660	0,0306
LP2G2R0	15	18	18,00	0,5147	0,0599	0,0309
LP3G2R0	16	21	22,00	0,5536	0,0541	0,0299
LP1G2R1	14	15	15,00	0,4763	0,0674	0,0321
LP2G2R1	15	15	15,00	0,4803	0,0607	0,0292
LP3G2R1	21	21	22,00	0,5717	0,0557	0,0319
LP1G2R2	13	16	16,00	0,4839	0,0666	0,0322
LP2G2R2	16	18	20,00	0,5258	0,0599	0,0315
LP3G2R2	22	25	27,00	0,6166	0,0538	0,0332
LP1G2R3	13	17	19,00	0,5026	0,0664	0,0334
LP2G2R3	18	19	20,00	0,5405	0,0611	0,0330
LP3G2R3	26	28	30,00	0,6561	0,0547	0,0359

Tabla 9.4.- Archivo Lotus de Starflow en Excel

CP1G1R0					
Depth(AVE) mm	Temp(AVE) øC	Velc(AVE) mm/s	Area(AVE) cm ²	FlwRt(AVE) l/s	Flow(AVE) l
208	21,6	456	624	28,454	426
208	21,6	463	624	28,922	434
207	21,6	453	621	28,213	423
208	21,63	449	624	28,048	420
207	21,67	447	621	27,839	417
208	21,67	463	624	28,937	434
207	21,67	453	621	28,178	422
207	21,67	464	621	28,862	432
208	21,67	466	624	29,078	436
208	21,67	465	624	29,031	435
207	21,67	461	621	28,677	430
205	21,67	467	617	28,854	432
206	21,73	464	619	28,762	431
205	21,71	464	617	28,65	429
204	21,73	472	612	28,97	434
204	21,73	461	612	28,28	424
204	21,73	457	612	28,02	420
205	21,73	454	615	27,92	418
204	21,73	461	612	28,275	424
204	21,73	463	612	28,367	425
205	21,73	459	615	28,259	423
203	21,73	458	610	28,009	420
205	21,73	458	615	28,166	422
205	21,73	464	615	28,566	428
204	21,73	457	612	28,024	420
205	21,73	455	615	27,997	420
202	21,73	463	608	28,179	422
203	21,73	461	610	28,141	422
205	21,73	447	615	27,505	412
205	21,73	467	615	28,766	431
204	21,73	442	612	27,094	406
203	21,73	449	610	27,43	411
203	21,73	449	610	27,427	411
204	21,73	446	612	27,373	410
203	21,73	460	610	28,096	421
205	21,73	451	615	27,736	416
205	21,73	453	615	27,89	418
203	21,7	453	610	27,683	415
202	21,67	459	608	27,963	419
202	21,67	461	608	28,086	421
202	21,6	462	606	28,045	420
203	21,6	461	610	28,173	422
203	21,6	446	610	27,276	409
204	21,58	452	612	27,741	416
204	21,57	457	612	28,032	420
203	21,54	456	610	27,852	417
203	21,54	450	610	27,505	412
202	21,54	462	608	28,112	421
204	21,54	462	612	28,337	425

204	21,54	457	612	28,002	420
202	21,54	458	608	27,89	418
203	21,54	462	610	28,238	423
202	21,54	465	608	28,312	424
203	21,54	460	610	28,11	421
202	21,54	462	608	28,1	421
202	21,54	449	608	27,325	409
205	21,54	441	615	27,151	407
204	21,54	457	612	28,044	420
202	21,54	460	606	27,921	418
202	21,54	461	606	27,966	419
203	21,54	452	610	27,64	414
202	21,54	462	608	28,13	421
203	21,54	455	610	27,827	417
202	21,57	466	608	28,358	425

9.2.- Propuesta para Práctica de Laboratorio

Medidor de Flujo Ultrasónico de Efecto Doppler, Starflow; en Canales de Superficie Libre

Objetivo:

Que el alumno conozca los principios físicos básicos utilizados en los velocímetros acústicos de efecto Doppler, sus componentes físicos y lógicos.

Aplicación:

En las prácticas anteriores se ha conocido el funcionamiento de estructuras y dispositivos utilizados para el aforo de cauces y canales abiertos. Estos dispositivos son de funcionamiento mecánico o automático, es por eso que es el turno de conocer un instrumento de funcionamiento lógico como lo es el caso del Starflow que permite el manejo de variables como tirante, velocidad, gasto y temperatura de forma estadística.

Desarrollo:

La práctica se divide en dos sesiones; la primera consiste en el conocimiento de los principios físicos utilizados en los aforadores de tercera generación, requerimientos de instalación y manejo del programa Starflow. La segunda sesión se realizará en el canal de pendiente variable con el Starflow previamente instalado y alineado para realizar una prueba y visualizar en la pantalla de un monitor un esquema en tiempo real. La visualización de los datos consistirá en variar los gastos y las pendientes para que el alumno aprecie la sensibilidad del instrumento. Por último en el aula se comentará la exactitud de los datos comparados con otros así como un ejemplo de manejo estadístico de los datos recolectados en una hoja de cálculo.

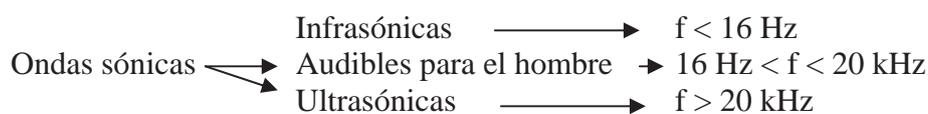
Material y Equipo:

Canal de pendiente variable, equipo Starflow y una computadora

Definiciones y Principios Físicos Doppler:

Sonido:

Fenómeno físico que estimula el sentido del oído. En los seres humanos, esto ocurre siempre que una vibración con frecuencia comprendida entre unos 15 y 20.000 hercios llega al oído interno. Los sonidos con frecuencias superiores a unos 20.000 Hz se denominan ultrasónicos.



Difracción (sonido):

La difracción es un fenómeno que afecta a la propagación del sonido. Hablamos de difracción cuando el sonido en lugar de seguir en la dirección normal, se dispersa.

La explicación la encontramos en el *Principio de Huygens* que establece que cualquier punto de un frente de ondas es susceptible de convertirse en un nuevo foco emisor de ondas idénticas a la que lo originó. De acuerdo con este principio, cuando la onda incide sobre una abertura o un obstáculo que impide su propagación, todos los puntos de su plano se convierten en fuentes secundarias de ondas.

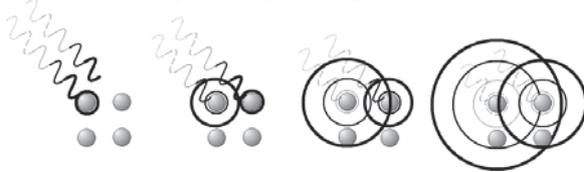
La difracción se puede producir por dos motivos diferentes:

1. porque una onda sonora encuentra a su paso un pequeño obstáculo y lo rodea. Las bajas frecuencias son más capaces de rodear los obstáculos que las altas. Esto es posible porque las longitudes de onda en el espectro audible están entre 3 cm. y 12 m, por lo que son lo suficientemente grandes para superar la mayor parte de los obstáculos que encuentran.
2. porque una onda sonora topa con un pequeño agujero y lo atraviesa.

La cantidad de difracción estará en función del tamaño de la propia abertura y de la longitud de onda.

Principio de Huygens:

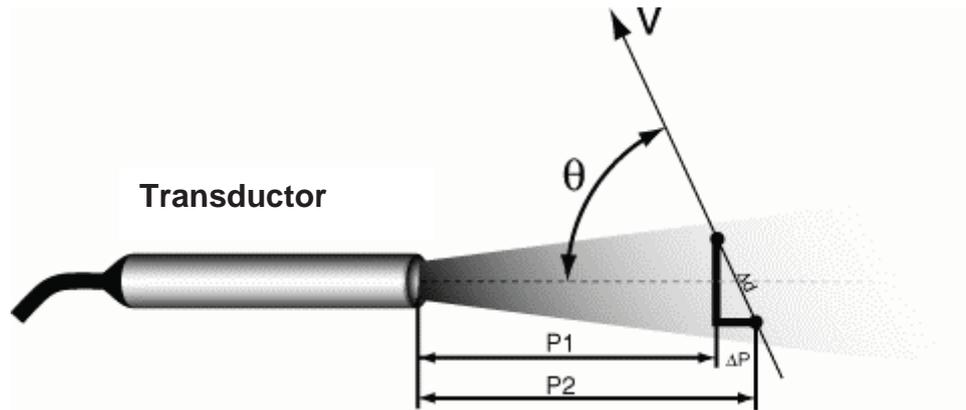
El principio de Huygens es un método de análisis aplicado a los problemas de propagación de ondas. Reconoce que cada punto de un frente de onda que avanza es de hecho el centro de una nueva perturbación y la fuente de un nuevo tren de ondas; y que la onda que avanza como un todo se puede mirar como la suma de todas las ondas secundarias que surgen de puntos en el medio ya atravesado.



Las ondas resultantes se convierten en un frente de ondas que avanza en la misma dirección que el que la generó y cada nuevo frente de onda es susceptible a su vez de ser núcleo de un nuevo frente de ondas.

Principios del Funcionamiento del pulso Ultrasónico Doppler:

En el pulso Ultrasónico Doppler, en lugar de emitir ondas ultrasónicas continuas, se emiten llamadas periódicamente, un disparo corto ultrasónico y un colector reciben ecos continuamente de objetivos que salgan al camino del rayo ultrasónico. Muestreando los ecos que llegan al mismo tiempo relativo de la emisión de los disparos, los cambios de posición que se dispersan son medidos. Asumamos una situación, como se ilustra en la figura abajo, donde solo una partícula se presenta a lo largo del rayo ultrasónico.



A partir del conocimiento del tiempo de retraso T_d entre un disparo emitido y el eco de la partícula, la profundidad p de esta partícula puede ser calculada por:

$$p = \frac{c \cdot T_d}{2}$$

Sin embargo se debe saber que el fenómeno involucrado no es el mismo, asumiendo que las partículas están caóticamente distribuidas dentro del rayo ultrasónico. Los ecos de cada partícula son de esa manera combinados en una moda aleatoria dando por resultado una señal de eco aleatoria. Esperando un alto grado de correlación entre las diferentes emisiones. Este alto grado de correlación es puesto en funcionamiento en todas las técnicas digitales de procesamiento usadas en el procesamiento de Señales Ultrasónicas de Velocímetros Doppler para extraer información, tales como la velocidad.

Dispersión Ultrasónica:

Las ondas ultrasónicas generadas por el transductor son más o menos confinadas en un cono estrecho. A medida que viajan en este cono pueden ser reflejadas o esparcidas cuando tocan una partícula de diferente impedancia acústica. La impedancia acústica es definida por:

$$Z = \rho \cdot c$$

Donde ρ es la densidad y c es la velocidad del sonido.

Si el tamaño de la partícula es mayor que la longitud de la onda, las ondas ultrasónicas son *reflejadas y refractadas* por la partícula. En ese caso la dirección de propagación de las ondas y la intensidad de las ondas ultrasónicas será afectada. Pero si el tamaño de las partículas es mucho más pequeño que la longitud de onda otro fenómeno se hace presente, que es nombrado esparcimiento. En dicho caso, una pequeña parte de la energía ultrasónica es reflejada en todas direcciones. La intensidad y la dirección de propagación de las ondas que se reciben prácticamente no son afectadas por el fenómeno de esparcimiento. *Es por eso que los medidores Ultrasónicos Doppler necesitan medir partículas menores que la longitud de onda.*

¿Como mide la velocidad el Starflow?

Cuando un sonido es reflejado de un objeto en movimiento la frecuencia del sonido es modificada por la velocidad del objeto en movimiento. Esta variación se le conoce como *Distorsión Doppler*. Para medir la velocidad en canales abiertos el Starflow utiliza las partículas que se mueven en el agua (sedimentos) como objetivos acústicos desde la base o fondo del canal.

Existen dos tipos de instrumentos Doppler que pueden ser usados para medir la velocidad del agua.

- Coherentes (o perfiladores). Los Doppler coherentes transmiten pulsos codificados con una frecuencia conocida en una señal de acarreo que les permite apuntar a puntos específicos dentro del perfil de velocidades y solo evalúa las señales reflejadas de estos puntos. Esto permite que el perfil de velocidades de un gasto sea graficado.
- Incoherentes (continuos). *Los Doppler incoherentes, como el Starflow*, envían una señal continua y registra cualquier señal que sea reflejada de los sedimentos en la totalidad de la envolvente del rayo. Estas señales reflejadas son resueltas en una velocidad única que puede ser considerada como la velocidad media del canal.

Durante un ciclo de medición, el sonido ultrasónico es transmitido continuamente en una frecuencia conocida como de acarreo. Un receptor capta cualquier cambio en la frecuencia.

Un sistema procesador acumula y analiza estos cambios y calcula una *Distorsión Doppler* representativa de todo el rango recibido. Cada distorsión Doppler esta relacionada con la componente de velocidad del agua a lo largo del rayo. Esta es una relación física ya que conociendo la velocidad del sonido en el agua se puede calcular la velocidad del objeto reflector de la señal (y por ende la velocidad del agua que envuelve al objeto). El Starflow no necesita una calibración para la medición de la velocidad.

La velocidad medida es la componente a lo largo del rayo. Debido a que el rayo se presenta en ángulo con el flujo, la velocidad media se encuentra con el coseno del ángulo.

Procedimiento:

1. En el canal de pendiente variable instalar el Starflow configurado para tomar lectura cada 15 segundos y grabar cada minuto.
2. Una vez funcionando la bomba para mantener el gasto constante en el canal de pendiente variable poner en marcha el esquema.
3. Ya en marcha el esquema el laboratorista podrá variar el gasto para que los alumnos vean en la pantalla el funcionamiento del Starflow.
4. Después de tomar 30 muestras el laboratorista guardara la prueba y en el aula con un proyector se podrá apreciar como se reflejan los cambios de gasto o pendiente en las variables de temperatura, gasto, velocidad y tirante.

5. El laboratorista podrá comentar en base a los datos recolectados como afecta a la exactitud los cambios en las condiciones de instalación.

Actividades:

Del esquema realizado en clases comentar a manera de conclusión la importancia de la correcta instalación de este tipo de instrumentos.

9.3.- Comunicación con Unidata

Previo al desarrollo de las pruebas, se verifico el correcto funcionamiento físico y lógico de todos los componentes del sistema Starflow. Esto comprendió de un mayor esfuerzo en la parte lógica (manejo del programa Starflow). El manual Starflow disponible en la red, si bien resuelve las dudas y problemas que se presentan al tener el primer contacto con el Starflow, en ocasiones no es tan extenso como se desearía; es por esto que la empresa Unidata pone a disposición en su página web, una dirección donde poder exponer estas dudas.

Un ejemplo de estas comunicaciones es el siguiente:

De: Richard Lehman <r.lehman@unidata.com.au>
Enviado el: Jueves, 08 de Diciembre de 2005 08:50:42 a.m.
Para: tqm132@hotmail.com
Asunto: Re: [Fwd: Unidata Web Query - Rodolfo Quintero MXXrquez]

Hi,

Follow the instruction below to reset the Starflow.

Warning this will erase all data in the Starflow.

- Select TEST MODE
- Select COMMUNICATION
- "*" Should appear when the Starflow is Plugged in.
- Press "ALT-D"
- Press "X"
- Press "ENTER"
- Press "K"
- Program Starflow with your scheme

Are you using the software supplied with the Starflow?

Which operating system are you using (DOS/95/98/2k/ME/XP)?

Thanks,
Richard Lehman
Service Manager
Unidata Pty. Ltd.
Telephone: +61 8 9331 8600
Facsimile: +61 8 9331 8611
Email: r.lehman@unidata.com.au
Web: www.unidata.com.au

----- Original Message -----

Subject: Unidata Web Query - Rodolfo Quintero MXXrquez

Date: Fri, 18 Nov 2005 08:38:26 +1300

From: Website Contact Form <info@unidata.com.au>

Reply-To: tqm132@hotmail.com

To: support@unidata.com.au

Name: Rodolfo Quintero MÃ¡rquez

Email: tqm132@hotmail.com

Query type: Technical support

Comment:

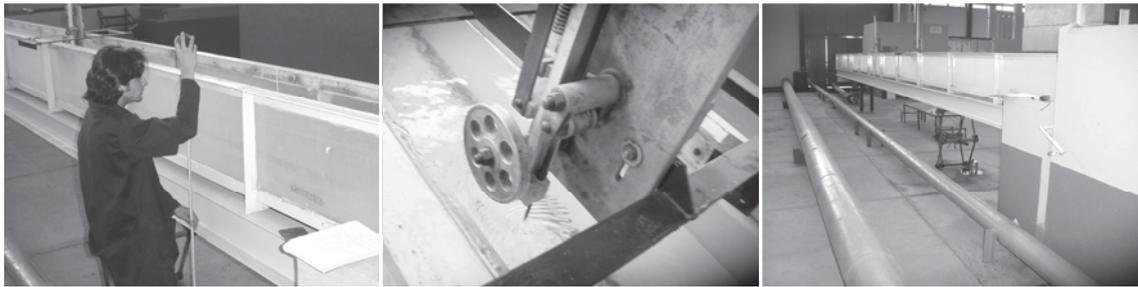
Hello, please hoping you can help me on this.

Several times I've tried installing the STARFLOW but I can't program it with a scheme.

I am totally sure that there is no problem with port connection or port designation, so, what will be the right way to check that the 6526C it still work.

Oh!, and tanks for your last response. Greetings for your web site.

9.4. - Archivo Fotográfico



Nivelación de CPV

Toma de tirante en limnómetro.

Vista panorámica de CPV.



Armado de disipadores.

Pruebas de disipadores en CPV.

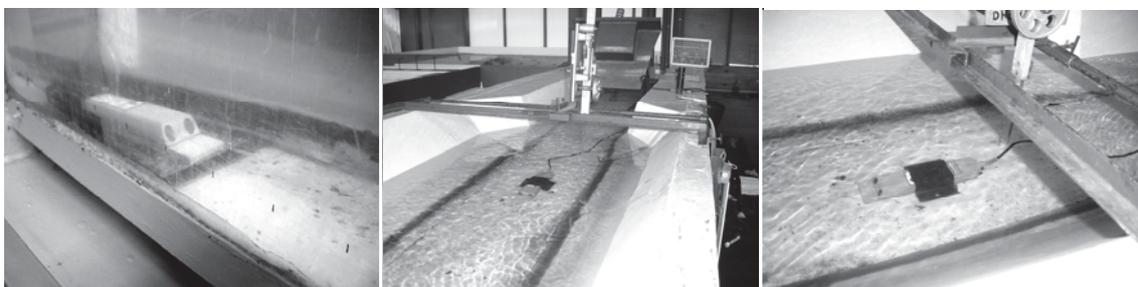
Vista aérea de disipador en CPV



Fabricación de base para manómetro.

Fabricación de placa Starflow para condición 3.

Vista superior de Starflow montado sobre placa en condición 3.



Starflow instalado en CPV.

Starflow instalado en fondo de canal trapecial.

Limnómetro para lectura de tirante en canal trapecial.