

**ESTUDIO PARA LA SELECCIÓN, INSTALACIÓN Y OPERACIÓN DE UN SISTEMA  
DE MEDICION DE GAS DE TRANSFERENCIA DE CUSTODIA PARA UNA  
ESTACIÓN DE GAS NATURAL VEHICULAR EN AGUAZUL, CASANARE**

**HERNANDO GALVIS TARAZONA**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
ESPECIALIZACION EN INGENIERÍA DE GAS  
BUCARAMANGA**

**2004**

**ESTUDIO PARA LA SELECCIÓN, INSTALACIÓN Y OPERACIÓN DE UN SISTEMA  
DE MEDICION DE GAS DE TRANSFERENCIA DE CUSTODIA PARA UNA  
ESTACIÓN DE GAS NATURAL VEHICULAR EN AGUAZUL, CASANARE**

**HERNANDO GALVIS TARAZONA**

Proyecto de Grado presentado como requisito para optar el título de  
Especialista en Gas

Director:

Ing. Hernando Galvis Barrera

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
ESPECIALIZACION EN INGENIERÍA DE GAS  
BUCARAMANGA**

**2004**

*Dedicación*

A Dios, quien me acompaño en esta dura tarea.  
A mi papa, por su paciencia, perseverancia y cariño hacia todo esto  
A mi mama, hermanos, familia y a Jenny.

A la Universidad Industrial de Santander.  
A mis compañeros de clase, gracias...

## **CONTENIDO**

### **INTRODUCCION**

<b>1. ASPECTOS BÁSICOS DE MEDICIÓN</b>	<b>10</b>
1.1. Generalidades	10
1.2. Análisis de las condiciones operacionales que influyen en la medición	11
1.2.1. <i>Calidad del gas</i>	11
1.2.2. <i>Regimenes de flujo</i>	12
1.2.3. <i>Fuentes de Perturbación de flujo</i>	24
1.3. Consideraciones para seleccionar un sistema de medición.	30
1.4. Criterios Básicos de diseño	31
<b>2. ESTACIÓN DE SERVICIO DE GNV EN AGUAZUL - CASANARE</b>	<b>33</b>
2.1. Que es el GNV	33
2.2. Aplicaciones	34
2.3. Tecnología	35
2.4. Ubicación de la Estación de GNV	38
<b>3. DESCRIPCIÓN TÉCNICA DE LOS POSIBLES MEDIDORES A UTILIZAR EN LA ESTACIÓN DE RECIBO DE GNV</b>	<b>39</b>
3.1. Medidor Tipo Rotatorio	39
3.2. Medidor Tipo Turbina	41
3.3. Medidor Tipo Coriolis	43

<b>4. DIMENSIONAMIENTO DE LOS DIFERENTES TIPOS DE MEDIDORES.</b>	<b>46</b>
4.1. Datos Básicos de Diseño	46
<hr/>	
4.1.1. <i>Servicio: Gas Natural</i>	46
4.1.2. <i>Tipo de Conexión</i>	46
4.1.3. <i>Presión de entrada de gas</i>	46
4.1.4. <i>Capacidad de flujo volumétrico</i>	47
4.1.5. <i>Instalación</i>	47
4.2. Estudio de Cada Tipo de Medidor	47
4.2.1. <i>Medidor Tipo Rotatorio</i>	47
4.2.2. <i>Medidores Tipo Turbina</i>	51
<hr/>	
4.2.3. <i>Medidor Tipo Coriolis</i>	54
<b>5. SELECCIÓN DEL TIPO DE MEDIDOR A UTILIZAR</b>	<b>56</b>
5.1. Costo de los Medidores	56
5.2. Evaluación por las condiciones operacionales	57
5.3. Costos de Mantenimiento y Operación	57
5.4. Exigencias de Instalación	58
5.5. Normatividad para Instalación	58
5.5.1. <i>Medidor Rotatorio</i>	59
5.5.2. <i>Medidor Turbina</i>	60
5.5.3. <i>Medidor Coriolis</i>	61
5.6. Selección del medidor a Instalar	
<b>6. ESCOGENCIA DEL MEDIDOR ROTATORIO IRM3 – G100 (3”) MARCA INSTROMENT</b>	<b>64</b>
6.1. Características del Medidor Instalado	64
6.2. Verificación del Medidor a Instalar en la Estación de GNV	71
6.3. Data Sheet del Medidor a Instalar	75

**7. CONCLUSIONES DEL ESTUDIO**

**76**

**8. BIBLIOGRAFIA**

**84**

## LISTA DE TABLAS

1.	Composición del Gas Estación GNV - Aguazul	46
2.	Medidores escogidos para ser evaluados	56
3.	Costo (U\$) por Medidor	56
4.	Costos por Operación y Mantenimiento	58
5.	Costos por Instalación	58
6.	Ventajas y Desventajas de los Medidores	63
7.	Especificaciones del Gas Natural	79

## LISTA DE FIGURAS

1.	Flujo Laminar	14
2.	Perfil de velocidades de un flujo laminar	15
3.	Flujo Turbulento	16
4.	Flujo de Velocidades de un Flujo Turbulento	16
5.	Perfil de Velocidad a 5 y a 20 diámetros aguas debajo de una curva en una tubería	18
6.	Rotación inducida por una curva de tubería	18
7.	Combinación de los efectos de rotación y de desplazamiento	19
8.	Flujo helicoidal creado por dos curvas adyacentes en planos a 90°	20
9.	Partes en un vehiculo para Instalación de GNV	36
10.	Ubicación Aguazul - Casanare	38
11.	Funcionamiento Medidor Rotatorio	40
12.	Medidor Tipo Turbina	43
13.	Principio de Operación del medidor Coríolis	44
14.	Lugar de ubicación de la Estación y del Compresor	57
15.	Medidor Rotatorio Instalado	60
16.	Instalación recomendada del Medidor tipo Turbina	60
17.	El perfil cuadrado del rotor comparado a un convencional	64
18.	El diseño del cuerpo	65
19.	Las presiones pueden reemplazarse sin perturbar el momento de engranaje.	66
20.	Identificación del medidor	75
21.	Identificación de dirección de flujo	75
22.	Localización del Medidor	76

## RESUMEN

### **TITULO:**

ESTUDIO PARA LA SELECCIÓN, INSTALACIÓN Y OPERACIÓN DE UN SISTEMA DE MEDICION DE GAS DE TRANSFERENCIA DE CUSTODIA PARA UNA ESTACIÓN DE GAS NATURAL VEHICULAR EN AGUAZUL, CASANARE

### **AUTOR:**

HERNANDO GALVIS TARAZONA

### **PALABRAS CLAVES:**

#### **GNV:**

GAS NATURAL VEHICULAR. Es el Gas natural utilizado para vehículos. Se llama también Gas Natural Comprimido, debido a que se encuentra a altas presiones.

#### **ESTACIÓN DE REGULACION Y MEDICIÓN**

Es el lugar donde se recibe se lleva a cabo el proceso de filtrado, regulación, medición y odorización del gas natural proveniente de un sistema de transporte para ser entregado a un cliente.

#### **MEDIDOR:**

Elemento ubicado en la estación de medición y Regulación, que se encargar de medir el flujo de gas que es entregado por un transportador a un distribuidor.

### **DESCRIPCION:**

La presencia de una estación de Gas Natural Vehicular obliga a la empresa transportadora de Gas Natural (ECOGAS) a la instalación de un medidor de gas natural para cumplir la normatividad exigida y fiscalizar el volumen de gas entregado; por lo tanto el objetivo que se busca es entregar un estudio que pueda influir en la exactitud de la medición y recomendar el sistema de medición que mas se adapte a las características operacionales de la estación de Aguazul – Casanare.

En el estudio se hace referencia a tres tipos de medidores: Medidores Tipo Turbina, Medidores Tipo Coriolis y Medidores Tipo Rotatorio; donde se realizaron estudios de cada tipo, marca y modelo. De cada una de las marcas estudiadas se elige la mejor opción, hasta llegar a elegir al medidor optimo que se requiere en la estación.

Para este proceso se toman en cuenta factores de operación de la estación y de cada tipo de medidor, además de costos de compra, instalación y mantenimiento.

El estudio muestra el proceso completo de selección del medidor y da como resultado final, la elección por el medidor Tipo Rotatorio, Marca Instromet, Modelo IRM3-G100., sobre Medidor Coriolis Micro Motion y Medidor Turbina American Meter.

## SUMMARY

### **TITLE:**

STUDY FOR THE SELECTION, INSTALLATION AND OPERATION OF A MEASUREMENT GAS SYSTEM OF TRANSFER OF CUSTODY FOR A STATION OF NATURAL VEHICULAR GAS IN AGUAZUL, CASANARE

### **AUTHOR:**

HERNANDO GALVIS TARAZONA

### **KEY WORDS:**

#### **GNV: NATURAL VEHICULAR GAS.**

The natural gas used for vehicles. It is also called Natural Gas compressed, because works on high pressures.

#### **STATION OF REGULATION AND MENSURATION**

It is the place where is received and carried out the process of filtration, regulation, measurement and odorization of the natural gas coming from the transportation system to the customers.

#### **METER:**

Element located in the station of regulation and measurement that takes charge of measuring the gas flow that is given from the transporter to the distributor.

### **DESCRIPTION:**

The presence of a station of Natural Vehicular Gas obligate to the Natural Gas transportation company (ECOGAS) to the installation of a natural gas meter to complete all the standards required and to check out the volume of gas received; therefore the goal of this study is to influence in the precision of the measurement and recommend the measurement system that better adapt to the operational characteristics of the station of Aguazul - Casanare.

In the study, three types of meters references are made: Turbine Meters Type, Coriolis Meters Type and Rotational Meters Type; where they were carried out studies of each type, characteristics and model. Of each one of the studies done, the best option is chosen, until ending up choosing the best meter required for the station.

For this process are taken factors of operation of the station and of each meter type, besides purchase costs, installation and maintenance.

The study shows the complete process of selection of the meter giving as final result the election of the Rotational meter Type, Instromet, Model IRM3-G100 between Coriolis Micro Motion Meter and Turbine American Meter.

## INTRODUCCION

En la industria del gas natural, todo sistema de medición es la base para un desarrollo activo del negocio. Es por eso que la necesidad de la instalación de un medidor para la estación de servicio de gas natural vehicular en la ciudad de Aguazul – Casanare, debe ser prioridad tanto para el transportador como para el distribuidor.

El objeto de este estudio es la de evaluar cada una de las propuestas sobre medidores que el mercado mundial actualmente nos ofrece, para entregarle una herramienta útil a las partes interesados en los parámetros que deben prevalecer para la compra de cualquier medidor.

La selección eficaz de un medidor de caudal exige un conocimiento práctico de la tecnología del medidor, además de un profundo conocimiento del proceso y del fluido que se quiere medir.

Cuando la medida del caudal se utiliza con el propósito de facturar un consumo, deberá ser lo más precisa posible, teniendo en cuenta el valor económico del fluido que pasa a través del medidor, y la legislación obligatoria aplicable en cada caso. En este estudio se examinan los conceptos básicos de la medida de caudal y las características de los instrumentos de medida.

Entre los principales medidores que se estudian se citan, en primer lugar, los medidores con accionamiento mecánico, es decir, los medidores de desplazamiento positivo y los medidores de tipo turbina, para finalizar con los medidores coriolis.

## **1. ASPECTOS BÁSICOS DE MEDICIÓN**

### **1.1. Generalidades**

En el control operacional ninguna variable es más importante para el proceso que el flujo. La medición de flujo es esencial en todas las fases del manejo del gas, incluyendo la producción, el procesamiento y en especial en la contratación de transporte y producto. Una medición confiable y exacta del flujo de un fluido exige un conjunto de actividades de ingeniería que involucran, en primer lugar un entendimiento profundo del proceso a ser medido, después la selección del instrumento de medición, su instalación, la operación, el mantenimiento y la interpretación correcta de los resultados obtenidos. Un sistema de medición de gas debe considerarse globalmente como un conjunto integrado por el medidor, los tramos de tubería recta aguas arriba y aguas abajo. Este conjunto puede incluir además acondicionadores de flujo, reguladores del perfil de velocidad, filtros, tomas de presión, entre otros.

Entre tanto un sistema de medición por mas tecnológicamente avanzado que sea, no será capaz de realizar mediciones exactas del fluido si no se satisfacen diversas condiciones relacionadas con factores que influyen directamente en proceso de medición, tales como la calibración del medidor, las características del fluido y de la instalación, los procedimientos de medición, los factores ambientales y los recursos humanos involucrados.

Los medidores de gas son instrumentos de precisión de alta tecnología y disponibles de acuerdo a diferentes principios operacionales, tales como los tipo diferencial: platina de orificio, tipo lineal como son los tipo turbina, ultrasónico, rotatorio y tipo másico como el medidor Coriolis.

El objetivo principal de las estaciones de medición de gas es llevar a cabo mediciones seguras y confiables de volúmenes de gas, mediante el uso de equipos controlados y

técnicas de medición reconocidas, las cuales pueden asegurar un nivel aceptable de incertidumbre de la medición.

Al comparar varios métodos de medición de gas, factores tales como la exactitud y la rangeabilidad juegan un papel primordial en la selección del medidor apropiado. La relación de capacidad o rangeabilidad en los medidores garantizan su correcta operación a bajos flujos.

Todos los medidores de flujo usan los principios de la mecánica de fluidos para obtener el caudal a partir de las propiedades de transporte del fluido. Es así, como el medidor de orificio requiere una caída de presión para el cálculo de flujo mediante un adecuado procedimiento en el cual se involucran propiedades del fluido medido y características físicas del medidor. En el caso de una turbina su rotación se incrementa con la velocidad de flujo de gas, la cual se detecta mediante sensores magnéticos o mecánicos instalados fuera del recinto de medición.

En general la exactitud de todos los medidores de flujo están sujetos a la evaluación y análisis de las siguientes variables aplicables al caso de la Estación de Aguazul:

- Análisis de las condiciones operacionales
- Características de los posibles tipos de medidores a utilizar
- Selección del tipo de medidor.
- Dimensionamiento y guías de instalación y montaje

## **1.2. Análisis de las condiciones operacionales que influyen en la medición**

### **1.2.1. Calidad del gas**

La calidad del gas a ser entregado por el transportador esta especificado en el Reglamento Unico de Transporte, RUT, el cual fija que el gas debe estar libre de sólidos y líquidos, componentes que afectan la exactitud de la medición. La instalación de

equipos de filtración es una garantía que ofrece un sistema correctamente diseñado para evitar posibles arrastres en el gas suministrado.

El medidor, como requerimiento mínimo, deberá operar con cualquiera de las mezclas de gas natural de “rango normal”, especificadas en el Reporte No. 8 de AGA. Esto incluye densidad relativa entre 0.554 (metano puro) y 0.87.

### **1.2.2. Regímenes de flujo**

El flujo de un fluido puede ser clasificado de muchas maneras, tales como laminar, turbulento, ideal, real, crítico, homogéneo, viscoso y no viscoso, régimen permanente, adiabático. Para cada tipo de flujo existen hipótesis que lo simplifican y se definen ecuaciones que los caracterizan. En cualquier situación tres condiciones básicas deben ser consideradas a saber:

- La validez de la ecuación de continuidad
- La Ley de Newton del Movimiento
- En las paredes del tubo la componente normal de la velocidad es igual a la velocidad del propio tubo. Para un fluido real, de acuerdo con el principio de adherencia la componente tangencial de la velocidad del fluido en las paredes es cero, con relación a las paredes de las tuberías.

#### ***Flujo ideal y flujo real***

En un flujo, cuando no hay atracción entre las partículas móviles adyacentes, o sea, la viscosidad del fluido es cero, el flujo se denomina ideal. En un flujo ideal las fuerzas internas en cualquier sección siempre son perpendiculares a dicha sección. Este flujo obedece a un modelo idealizado, pero que nunca se obtiene en la práctica. Lo anterior se debe a que todos los fluidos reales son más o menos viscosos. De forma, el flujo viscoso y el flujo real son sinónimos.

## ***Número de Reynolds***

El comportamiento de un fluido fluyendo a través de una tubería puede traducirse por medio de un parámetro adimensional conocido como número de Reynolds. Este parámetro es de gran importancia en la medición de flujo de fluidos, siendo definido como:

$$RD = \rho \cdot v \cdot D / \mu$$

Donde:  $\rho$  es la densidad del fluido,  $v$  es la velocidad media del fluido,  $D$  es el diámetro interno de la tubería y  $\mu$  es la viscosidad dinámica del fluido.

Consideremos el numerador de la ecuación anterior: siendo  $\rho$  la masa por unidad de volumen,  $\rho v$  es, por lo tanto, la cantidad de movimiento por unidad de volumen, y  $\rho Dv$  es el momento de la cantidad de movimiento por unidad de volumen. El numerador es, por tanto, la medida de la capacidad del fluido de producir fuerzas dinámicas; mientras que el denominador,  $\mu$ , es una medida de la capacidad de producir fuerzas viscosas.

Esto significa que el número de Reynolds indica cual es el tipo de fuerza que predomina en el flujo de un fluido. Cuando el término  $\rho Dv$  es relativamente grande,  $RD$  también es grande y esto significa una predominación de las fuerzas dinámicas. Pero, cuando  $\mu$  es relativamente grande, el número de Reynolds es menor y, así, las fuerzas viscosas prevalecen.

Es interesante observar que  $RD$  es llamado número de Reynolds porque la dimensión de  $\rho Dv$  es la misma de  $\mu$  y, de esa forma,  $RD$  se constituye en una relación adimensional.

## ***Flujo laminar y flujo turbulento***

Un fluido puede fluir en una tubería básicamente bajo dos regímenes diferentes: flujo laminar o flujo turbulento.

El flujo laminar es denominado de esta forma porque todas las partículas del fluido se mueven en líneas rectas diferenciadas, paralelas al eje de la tubería, y de forma ordenada. Es decir, el fenómeno se desarrolla como si las líneas del fluido se distanciaran relativamente entre sí.

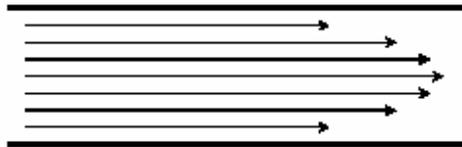


Figura 1. Flujo Laminar

A manera de ilustración, este régimen puede compararse con el flujo de vehículos en una autopista con mucho movimiento, o con tráfico en los diferentes carriles fluyendo paralelamente y a diferentes velocidades; encontrándose las partes más lentas próximas a las paredes de la tubería y las más rápidas en el centro de la tubería.

Teóricamente, en un régimen de flujo laminar, se asume que el “tráfico” nunca cambia de carril. La verdad es, que un cambio gradual entre los carriles termina sucediendo. Este fenómeno es denominado flujo secundario, y es un asunto complejo, ignorado en situaciones prácticas, aunque algunas ocasiones esto pueda tener consecuencias importantes.

El régimen de flujo laminar, o como muchas veces es llamado de flujo en líneas de corriente, o aún como flujo viscoso, es gobernado por la ley de Newton de la viscosidad. Esta puede considerarse como el régimen de flujo donde toda la turbulencia es amortiguada por la acción de la viscosidad, y teóricamente ocurre cuando el número de Reynolds es inferior a 2000.

El flujo en régimen laminar se caracteriza por un movimiento suave y continuo del fluido, con poca deformación. El régimen laminar puede obtenerse de varias formas: por medio de un fluido de baja densidad, un flujo de baja velocidad, a través de elementos de dimensiones pequeñas, o por medio de un fluido con alta viscosidad, tales como aceites y lubricantes.

La representación gráfica que muestra como la velocidad de un fluido varía de acuerdo con el diámetro de la tubería es llamada el perfil de velocidades de flujo. El perfil de velocidades es probablemente, el parámetro de influencia más importante y menos conocido en una medición de flujo.

Usualmente, esta representación gráfica se realiza en un plano bidimensional. Sin embargo, es importante conceptualizar que el flujo en el interior de una tubería ocurre en el espacio tridimensional, y de esta manera muchas veces más complejo de lo que la figura puede mostrar.

Para el caso de flujo laminar en una tubería circular, la velocidad adyacente a las paredes es cero y aumenta para un valor máximo en el centro del tubo. El perfil de velocidades posee la forma de una parábola, y la velocidad media es igual a la mitad de la velocidad máxima en el eje central (Ver Figura 2.)

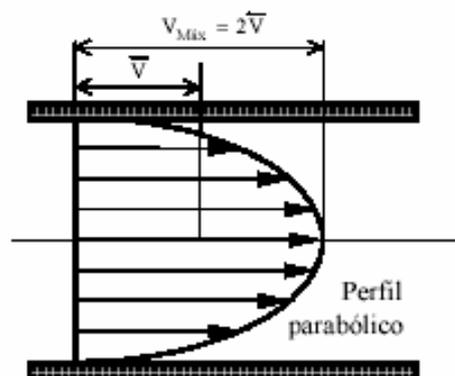


Figura 2. Perfil de velocidades de un flujo laminar

Teóricamente, el régimen de flujo turbulento ocurre para Números de Reynolds superiores a 2000. Sin embargo, muchas veces tales regímenes pueden continuar o iniciarse en Números de Reynolds más bajos que 2000.

Este tipo de flujo puede asociarse al vuelo de un enjambre de abejas. El grupo como un todo, puede parecer que está volando en línea recta a una velocidad constante, pero si pudiéramos observar el vuelo individual de un insecto cualquiera en particular, tendríamos la impresión de que él está zigzagueando y volando aleatoriamente dentro del enjambre.

De esa manera, en el régimen turbulento, no es posible observar líneas de corriente discretas, consistiendo el flujo en una “masa de remolinos”. Así, las partículas del fluido no siguen la misma trayectoria (Figura 3.)

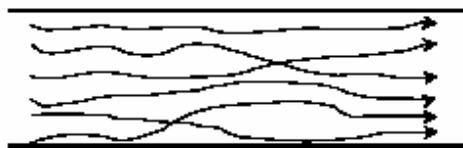


Figura 3. Flujo Turbulento

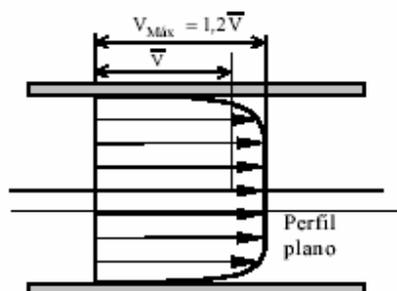


Figura 4. Flujo de Velocidades de un Flujo Turbulento

En el flujo turbulento, el perfil de velocidades aguas abajo de un tramo recto y largo de tuberías es mucho más achatado que en régimen laminar, y la velocidad en el centro es cerca de 1,2 veces la velocidad media, dependiendo de la rugosidad de la tubería. Bajo estas condiciones, se dice que el perfil está plenamente desarrollado o normal.

En las aplicaciones industriales, los Números de Reynolds en las tuberías son, generalmente, superiores a 2000, y el flujo laminar es poco usual, a menos que el fluido sea un líquido muy viscoso.

Asimismo, normalmente se asume que los flujos en consideración ocurren en régimen turbulento, a menos que se especifique flujo laminar.

### ***Asimetría del perfil de velocidades***

En las aplicaciones prácticas, los circuitos de tuberías poseen cambios de dirección y de área de la sección transversal. En estos casos, el perfil de velocidades puede tornarse completamente distorsionado debido al paso del flujo a través de curvas, “tees”, reducciones, válvulas o los mismos medidores de flujo.

Esta distorsión del perfil de velocidad es crítica en la operación de medidores de flujo que dependen de la perfecta axisimetría de flujo, como por ejemplo los medidores por diferencial de presión y los medidores tipo turbina. Además, una desviación en el perfil de velocidades de operación con relación al perfil utilizado en la calibración del medidor en laboratorio, podrá ocasionar errores de medición de difícil detección y cuantificación.

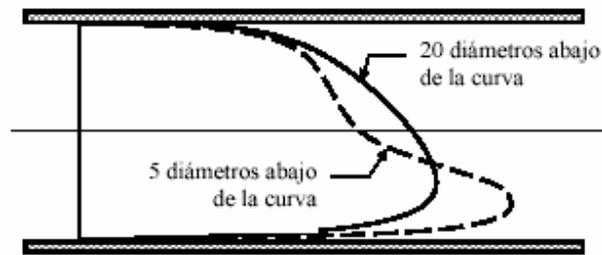


Figura 5. Perfil de Velocidad a 5 y a 20 diámetros aguas abajo de una curva en una tubería

El grado de asimetría del perfil de velocidad de flujo depende de factores como el número de Reynolds, que lleva en consideración la velocidad y la viscosidad del fluido, y la rugosidad de la superficie interna de la tubería.

### **Rotación y Remolino (Swirl)**

Curvas, codos, válvulas, etc., también pueden producir una perturbación en el flujo conocida como rotación. El patrón de flujo de un fluido al momento de dar una curva es complejo (mucho más complicado, esto origina un movimiento de rotación (A) en el flujo interno de la tubería recta aguas abajo de la curva, fijando un desplazamiento (B) del fluido que ocurre hacia delante.

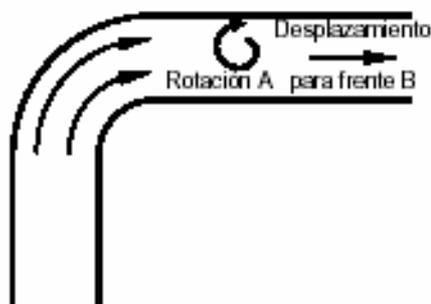


Figura 6. Rotación inducida por una curva de tubería

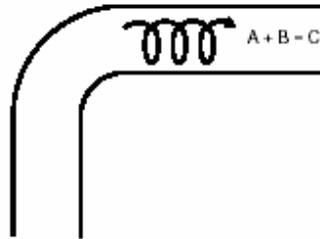


Figura 7. Combinación de los efectos de rotación y de desplazamiento

Por otra parte, el tipo de perturbación más severo en la mayoría de los medidores de flujo es el flujo rotacional en tres dimensiones, o swirl (remolino), producido por dos curvaturas adyacentes posicionadas en planos diferentes aguas arriba del medidor de flujo. Esta configuración hace que el flujo gire de forma helicoidal, haciendo que este efecto persista por largas distancias.

En flujos a números de Reynolds elevados, ese fenómeno decae a una tasa de cerca del 4% por cada diámetro recorrido y, a bajos números de Reynolds, ese decaimiento es de cerca de 2% por diámetro. Eso quiere decir que, para una tubería de 100 mm de diámetro, la intensidad del swirl disminuye a solamente 4% (o 2%) por cada 100 mm de tramo recto que el fluido recorre en el interior de la tubería.

Los efectos nocivos del swirl pueden atenuarse, de ser necesario, instalando los llamados rectificadores de flujo aguas arriba del medidor de flujo.

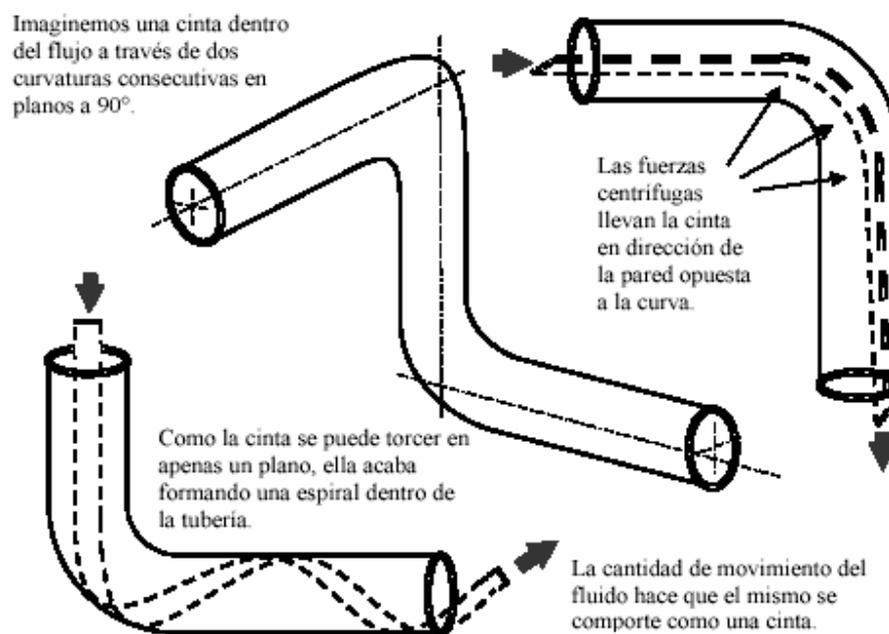


Figura 8. Flujo helicoidal creado por dos curvas adyacentes en planos a 90°

### ***Flujo en régimen permanente y no-permanente***

Un flujo en régimen permanente es aquel que ocurre cuando todas las condiciones, en cualquier punto, son constantes en el tiempo. Teóricamente, el flujo en régimen permanente se obtiene solamente bajo régimen laminar. Esto se debe a que en el flujo turbulento se generan continuamente fluctuaciones en la velocidad y en la presión en cada punto. En la práctica, al menos, si los valores fluctúan en torno de un valor medio constante, de modo simétrico, se considera normalmente que ocurre bajo un régimen permanente.

En un flujo en régimen no-permanente, las condiciones varían con relación al tiempo y en cada sección de la tubería. Esta variación en la tasa de flujo puede ser lenta, como resultado de la acción de una válvula de control proporcional; o puede ser rápida, como resultado del bloqueo repentino de una válvula de cierre rápido, que puede inclusive

producir el fenómeno conocido como “golpe de ariete”. Un régimen de flujo inestable ocurre también, por ejemplo, cuando se pasa un fluido de un reservorio a otro, donde el equilibrio se consigue cuando las presiones o los niveles se igualan.

El flujo en régimen no-permanente también incluye los movimientos periódicos, tales como los efectuados por las ondas del mar, por los movimientos de los mares en estuarios y otros tipos de oscilaciones de la naturaleza. La diferencia entre estos casos y el flujo medio de regímenes turbulentos es que las desviaciones con respecto a la media de flujos en régimen no permanente son mucho mayores, y la escala del tiempo es también mucho mayor.

### ***Flujo compresible e incompresible***

En flujo incompresible el fluido se mueve a lo largo de la tubería manteniendo su densidad constante. Estrictamente hablando, ningún fluido es verdaderamente incompresible, dado que hasta los líquidos pueden variar su densidad cuando son sometidos a alta presión. En la práctica, para fluidos en movimiento con número de Mach menor de 0,3 el flujo puede ser considerado incompresible.

En flujos de líquidos, es muy difícil alcanzar Mach igual a 0,3, a causa de la altísima presión requerida para inducir el flujo. Por esta razón, este tipo de flujo es considerado normalmente incompresible.

Una diferencia esencial entre un fluido compresible y uno incompresible está en la velocidad del sonido. En un fluido incompresible la velocidad de propagación de un gradiente de presión es prácticamente instantánea; por otro lado, en un fluido compresible la velocidad es finita. Un pequeño disturbio se propaga en la velocidad del sonido.

Cuando la velocidad del fluido se iguala a la velocidad del sonido en el fluido, la variación de la densidad (o del volumen) es igual a la variación de la velocidad. Es

decir, una gran variación de la velocidad, en un flujo a alta velocidad, causa gran variación en la densidad del fluido. Los flujos de gases pueden fácilmente alcanzar velocidades elevadas, características de flujos compresibles.

Para el flujo turbulento de un fluido incompresible, el efecto de la variación de la densidad en la expresión de la turbulencia es despreciable. Pero, este efecto debe ser considerado cuando la operación es con un fluido compresible. Un análisis del flujo turbulento de un fluido compresible requiere la correlación de las componentes de la velocidad, de la densidad y de la presión.

Los gases son fluidos compresibles, de esta forma las ecuaciones básicas de flujo deben considerar las variaciones en la densidad provocadas por la presión y por la temperatura. Para los fluidos compresibles, como los gases y vapores, es necesario adicionar los términos térmicos a la ecuación de Bernoulli para obtener una ecuación que considere la energía total y no solamente la energía mecánica.

### ***Flujo rotacional e irrotacional***

En flujo rotacional, para un observador fijo, cada pequeña partícula de fluido parece rodar en torno de su propio eje. Por ejemplo, el flujo en un cilindro girando en torno de su eje, o el flujo de un líquido en el interior de una bomba.

En flujo irrotacional, cada pequeña partícula o elemento del fluido preserva su orientación original. Como un elemento del fluido puede ser girado en torno de su eje solamente con la aplicación de fuerzas viscosas, el flujo rotacional es posible solamente con un fluido real viscoso, y el flujo irrotacional solamente puede ser obtenido en un fluido ideal no viscoso.

Para fluidos de baja viscosidad, tales como el aire y el agua, el flujo irrotacional puede aproximarse a la forma de un vórtice libre. En un vórtice libre, un cuerpo de fluido gira sin la aplicación de torque externo por causa de la cantidad de movimiento angular

previamente aplicado en él. Ejemplos son la rotación del fluido que sale de una bomba centrífuga, un huracán, o la rotación del agua entrando en el drenaje de un vertedero.

### ***Flujo junto a las paredes y a sus proximidades***

Para un fluido ideal, sin atracciones, la velocidad del flujo adyacente a la superficie limitante es la misma. Por otro lado, en la realidad, la adhesión entre el fluido y la superficie de las paredes tiende a hacer que la velocidad del fluido se iguale a la velocidad de la superficie del cuerpo. A partir de la pared, la velocidad aumenta con la distancia según una tasa que depende de la viscosidad del fluido. El flujo en esta capa fina está en un régimen laminar de flujo.

Después viene una zona de transición, donde los límites son indefinidos, donde se puede asumir que el flujo es totalmente turbulento. Más distantes de la superficie, los efectos de paredes desaparecen y el flujo no se perturba más. La región entre la capa límite laminar y la perturbada es conocida como la capa límite de turbulencia. Los efectos de la viscosidad son más pronunciados cerca de la pared o del cuerpo sólido, y disminuyen rápidamente con la distancia de la superficie límite.

### ***Flujo interno y externo***

Un flujo puede también ser clasificado como interno o externo. El flujo interno se refiere al fluido moviéndose dentro de una tubería o un conducto. El flujo externo se relaciona con el flujo de un fluido en torno de un objeto, por ejemplo, el aire en torno al ala de un avión o el agua en torno a un navío.

El flujo interno es caracterizado de modo conveniente por la forma del conducto y sus variaciones, por los efectos de la atracción y por la transferencia de calor entre las paredes del ducto y las fuentes internas de energía.

El flujo externo está relacionado con las capas límites y con las estelas generadas por el movimiento de los cuerpos que fluyen. El conocimiento de estos fenómenos es posible, por ejemplo, los medidores de rata de flujo basados en la generación de vórtices por medio de perfiles insertados en el flujo.

### ***El flujo de un fluido no-newtoniano***

Cuando algunos fluidos plásticos son forzados a través de un tubo a una tasa de flujo muy baja, el diámetro de la corriente de salida es, normalmente, mucho mayor que el diámetro del tubo. Bajo estas mismas condiciones, los flujos de fluidos newtonianos presentan un aumento mucho menor en el diámetro. Este fenómeno es llamado expansión por extrusión y debe considerarse en los equipos y moldes de extrusión para la construcción de partes y tubos de plástico.

### ***Flujo crítico***

Cuando un gas fluye a través de una boquilla o de un orificio a una velocidad igual a la del sonido en este fluido, el régimen de flujo a través de esta restricción es llamado crítico o estancado. En este tipo de elemento de restricción el flujo crítico es independiente de las condiciones de presión y de temperatura aguas abajo. Es decir, es posible disminuir la presión aguas abajo de la boquilla sin que la rata de flujo de gas aumente.

### **1.2.3. Fuentes de Perturbación de flujo**

Los sistemas de medición se han normatizado mediante análisis de pruebas de laboratorio en centros de investigación, desafortunadamente la exactitud del laboratorio de prueba se pierde a menudo cuando los medidores se instalan en el campo en condiciones que no son bien definidas y controladas. La mayoría de estos problemas son el resultado directo de los llamados efectos del sistema: pulsaciones, remolinos,

propiedades desconocidas del gas, mantenimiento y calibración inadecuada, acumulación de sólidos, distorsión del perfil de flujo, filtro sucio.

La exactitud establecida para la medición de una tasa de flujo se basa en la hipótesis de un flujo en régimen permanente de un fluido newtoniano, homogéneo, con una única fase, y con un perfil de velocidad plenamente desarrollado a lo largo de un tramo recto de tuberías. Cualquier desviación de estas condiciones de referencia puede afectar la medición y el medidor, permitiendo desde la introducción de pequeños errores de medición hasta la destrucción total del elemento sensor de flujo.

Enseguida se identifican algunos tipos de perturbaciones que pueden ocurrir en un flujo:

### *Cavitación*

Físicamente, es posible vaporizar un líquido por medio de dos procesos distintos: aumentando su temperatura y manteniendo la presión constante, o disminuyendo la presión y manteniendo la temperatura constante.

Por definición, la cavitación es la ebullición de un líquido originada por la disminución de la presión estática por debajo de la presión de vapor del fluido. La cavitación depende del par formado por la temperatura y la presión estática. En la cavitación hay una formación e implosión de cavidades de vapor. Este colapso de las burbujas de vapor es el responsable del ruido característico asociado a la cavitación. Los gases disueltos en las burbujas de gas en los líquidos forman los núcleos y están presentes en el proceso de deflagración de la cavitación.

La cavitación ocurre en un sistema cuando la presión se reduce lo suficiente, o por atracción ó por separación del flujo, o por una restricción presentada por una válvula, obstáculo, o elemento de flujo generador de presión diferencial. En un mismo sistema con una tubería bien proyectada, puede ocurrir la cavitación cuando una válvula de control o de alivio se abre repentinamente.

En la medición de flujo de líquidos con una generación de presión diferencial elevada, se presenta una caída brusca de presión después del elemento primario. Cuando una presión se reduce demasiado, hasta cerca de la presión de vapor del líquido en la línea, es posible que ocurra la cavitación.

Cuando la cavitación es intensa, puede ocasionar daños en los rotores de las bombas y elementos de tuberías, restringir el flujo, inutilizar el elemento primario, producir vibraciones en las estructuras, y generar niveles de ruido elevados.

#### *Pulsación y rata de flujo no-constante*

El fenómeno de pulsación de flujo es una característica muy importante en la selección de los medidores, en especial para el caso de la estación de GNV en Aguazul por la instalación de un compresor inmediatamente aguas abajo del sistema de medición.

Pulsación se define como la rápida variación repetida tanto de la presión como del flujo, son variaciones continuas del flujo con repetibilidad o forma de onda estacionaria, que contiene normalmente componentes de frecuencia por encima de 1 o 2 Hz. La fuente usual de pulsaciones es el compresor recíprocante, instalado aguas abajo como aguas arriba del elemento de medición.

Cuando las variaciones de presión y flujo de gas son más lentas, frecuencia menor a 1 Hz se denomina flujo transiente, ocasionados principalmente por variación de carga, ciclos de descarga de un separador, fenómenos que no ocurren con repetibilidad, es decir cambios operacionales impredecibles.

Los efectos de los fenómenos de pulsación para los diferentes tipos de medidores se detallan a continuación:

- **Medidor tipo Orificio**

El efecto de las pulsaciones en el medidor tipo orificio ha sido muy estudiado y evaluado. El medidor de flujo basado en la medición de presión diferencial, es básicamente, equipo de medición para operación en régimen permanente. A causa de la relación de raíz cuadrática entre la presión diferencial y la tasa de flujo, la medición de la presión diferencial fluctuante no permite la obtención de la tasa de flujo verdadera del fluido, esto porque la raíz cuadrada de la integral de la presión diferencial no es igual a la integral de la raíz cuadrada de la presión diferencial, excepto cuando la presión diferencial es constante. El error es mayor para ondas de forma rectangular que para ondas senosoidales. Algunas fuentes de pulsación en un flujo pueden ser la presencia de bombas, compresores, válvulas etc.

Para los caudales de gas, los efectos debidos a las pulsaciones pueden disminuirse con el uso de elementos primarios que provoquen presiones diferenciales bajas, es decir con la relación beta elevada, y también por medio de procesos con presión estática elevada.

- **Medidor tipo Turbina**

Las pulsaciones de amplitud en todos los rangos alta y moderada, causan en el medidor de turbina una mayor indicación de flujo al que realmente existe. Puesto que el medidor de turbina responde directamente a la velocidad de flujo, la localización dentro de la onda estacionaria acústica puede afectar la exactitud de la medición. Cuando ocurren modulaciones muy grandes de flujo en el medidor de la turbina, el error en el flujo indicado es muy grande, este caso es el que se presenta cuando cambios bruscos de presión en el sistema de suministro de gas ocurren por efecto de succión de un compresor recíprocante. Los cambios en el flujo medido se pueden calcular directamente usando una señal generada directamente desde el eje de la turbina, este mecanismo provee un medio muy conveniente para observar el mecanismo de error. Cuando el flujo se incrementa el ascenso del rotor se incrementa y la velocidad también

se incrementa, cuando el flujo decrece a través del ciclo, el rotor tiende a deslizar y desacelera rápidamente. Debido a que las paletas se aceleran más rápido que cuando se desacelera, el promedio de la velocidad de rotación es más alto e indica un flujo mayor.

- **Medidor tipo Rotatorio**

Los datos concernientes a los efectos de las pulsaciones sobre el medidor tipo rotatorio son muy limitados, pero las pocas investigaciones desarrolladas indican que estos medidores son menos susceptibles al error por efecto de las pulsaciones de flujo. La limitación que ofrecen estos medidores es la reducida capacidad volumétrica. Un aspecto que debe ser considerado, cuando se compara este medidor con los otros tipos, es que tienen un mayor volumen interno con respecto a los otros medidores lo que sirve para amortiguar o atenuar las pulsaciones que se lleguen a presentar.

- **Medidor Ultrasónico**

Relativamente nuevos para la medición de flujo de gas y potencialmente su tecnología y desarrollo tienden a habilitarlos a un comportamiento adecuado a flujos pulsantes. Lo que se conoce en la actualidad es que un número mayor de transductores promedia los efectos pulsantes.

- **Medidor tipo Coriolis**

La respuesta de estos medidores a los efectos de pulsación de flujo no ha sido desarrollada de tal manera que los efectos de la pulsación a estos medidores es todavía un aspecto en investigación.

### ***Perdida de carga en las tuberías***

El flujo de un fluido en una tubería recta de sección transversal circular sufre una caída de presión a lo largo de la línea, dada por las ecuaciones de Darcy-Fanning o de Darcy-Weisbach. Hay varios parámetros de las tuberías que influyen en la pérdida de carga del flujo: el material a partir del cual se fabrica el tubo, el método de fabricación, el diámetro, el tratamiento superficial y la edad de la tubería.

La utilización frecuente de intercambiadores de calor, válvulas, filtros, curvas, codos, tes, expansiones, reducciones, etc., provoca caídas adicionales de presión, denominadas en este caso pérdidas de carga singulares.

### ***Válvulas***

Las válvulas pueden dividirse en dos grupos principales, cuando se considera la resistencia al caudal: la válvula de globo, que presenta una gran resistencia al flujo, y es utilizada normalmente para el control continuo, y la válvula de tipo compuerta que presenta una pequeña resistencia, y que es generalmente utilizada en posiciones totalmente abierta o cerrada. La mayoría de los demás tipos de válvulas se sitúan entre estos dos grupos. La válvula de control es utilizada para provocar una caída de presión ajustable a la tasa de flujo del fluido.

### ***Conexiones***

Las principales conexiones de las tuberías son las uniones, las tees de separación, los codos de desviación, las reducciones y las expansiones. Normalmente, la caída de presión provocada por estas conexiones está dada por tamaños equivalentes de tubería recta que causarían la misma caída de presión, bajo las mismas condiciones de flujo.

Para la medición de flujo, el principal efecto de la presencia de conexiones en la línea es la perturbación causada por las mismas en el perfil de velocidad del flujo aguas arriba del medidor.

### ***Golpe de ariete***

El golpe de ariete es un fenómeno que se genera y se propaga en las tuberías, causado por la variación brusca de alguna sección o por la apertura o cierre súbito de una válvula. Cuando se interrumpe de forma brusca el flujo de un fluido, ocurre un aumento repentino de presión, en el sentido contrario al del flujo original. Es un fenómeno análogo a la Ley de Lenz, en la electricidad, que hace aparecer una altísimo voltaje cuando se desconecta, de repente, una toma con corriente elevada.

Los efectos elásticos del fluido y de las paredes de las tuberías disminuyen las condiciones originales de la perturbación, amortiguando la presión a lo largo de la línea. Obviamente, las partes más afectadas serán las más próximas a la válvula o a la fuente del golpe. Estas partes se comprimirán y las paredes adyacentes se expandirán debido al aumento de la presión provocada por el bloqueo de la válvula. El golpe de ariete es bastante perjudicial porque puede llegar a destruir el medidor de flujo.

### **1.3. Consideraciones para seleccionar un sistema de medición.**

La selección de un medidor de flujo para una aplicación dada depende de la importancia asociada con el problema de medición. Es obvio que es complejo tratar de calificar un medidor, sin conocer detalladamente la aplicación específica para la cual se va a usar. Sin embargo, hay cinco preguntas generales que contribuyen a la selección del medidor. Las preguntas son las siguientes:

¿Qué tipo de fluido se va a transportar?

- El fluido es líquido, gas o vapor.

- El fluido está limpio o posee contaminantes

¿Cuáles son las condiciones del proceso?

- Condiciones de presión, flujo y temperatura
- Condiciones ambientales

¿Cuáles son las facilidades de instalación?

- Diámetro de la línea.
- Número de Reynolds de operación del sistema.
- Requerimiento de rectificadores de flujo.
- Vibración excesiva del tubo.
- Flujo estacionario o de caudal variable.
- Disponibilidad de área para la instalación.

¿Cuáles son las condiciones de desempeño y medición de flujo?

- Precisión global requerida y su rango.
- Cambios en la rata de flujo, relación  $Q_{max}$  y  $Q_{min}$ .

¿Cuál es la evaluación económica de operación e instalación?

- Costo inicial de los dispositivos primario, secundario y equipo auxiliar.
- Costo de instalación incluyendo mano de obra y tubería.
- Costo de energía para operar el medidor de flujo y costo de bombeo (o compresión) para compensar la pérdida de presión.
- Confiabilidad vs. Costos de mantenimiento.
- Disponibilidad de partes y facilidad de servicio.
- Uso posible en ampliaciones futuras

#### **1.4. Criterios Básicos de diseño**

- a. El gas natural debe estar libre de polvos, arenas y otros sólidos para evitar una operación incorrecta del medidor.
- b. El medidor seleccionado debe cumplir las especificaciones requeridas en la transferencia de custodia.
- c. El sistema de medición debe incluir un sistema de calibración capaz de llevar al sistema de medición hasta niveles de exactitud que generen errores por debajo del 0.5%.
- d. En la instalación del medidor se deben cumplir las exigencias del fabricante para garantizar su correcta operación.
- e. La diferencial de presión a través del medidor debe ser bajas a las diferentes ratas de flujo
- f. La capacidad del medidor esta directamente proporcionada con la presión del gas a medir, lo que determina su dimensionamiento.
- g. El medidor debe proporcionar confiabilidad mecánica y de medición.

## **2. ESTACIÓN DE SERVICIO DE GNV EN AGUAZUL - CASANARE**

### **2.1. Que es el GNV**

La fuerte contaminación en las principales ciudades de Colombia, sumando a la tendencia mundial de hacer compatible el crecimiento económico con la protección ambiental, ha provocado la búsqueda y utilización de combustibles alternativos ecológicos, económicos y seguros.

Entre estos combustibles alternos se encuentra el Gas Natural Vehicular (GNV), una aplicación del gas natural que surge como una alternativa viable para dotar a las flotas vehiculares que circulan en nuestras ciudades con un combustible limpio y seguro, reduciendo en forma importante el volumen de contaminantes que se emiten diariamente. Es por esto que actualmente, la GOBERNACION DEL CASANARE en su intento por preservar y mejorar el medio ambiente, ha otorgado gran importancia a la implementación y desarrollo del GNV en la ciudad de AGUAZUL.

El desarrollo del proyecto es viable en términos técnicos, económicos y ecológicos, debido a:

- El fuerte desarrollo y utilización del GNV en otros países como Argentina, con 1.200.000 vehículos circulando, Italia con una flota de 400,000 unidades o Estados Unidos con alrededor de 70,000 vehículos.
- La proximidad con ciudades como Villavicencio y Bogotá que actualmente cuentan con el servicio. Ciudades con las cuales se podrían crear corredores especiales para el uso continuo del GNV.
- El diferencial de precio existente entre el gas natural vehicular que representa un 30% menos que la gasolina.
- La reducción en emisiones contaminantes, comparado con la gasolina:

- De un 90 a 95% del Monóxido de Carbono, Hidrocarburos Reactivos y Partículas Sólidas.
- De un 30 a un 40% de Óxidos de Nitrógeno.
- De un 20% de Dióxidos de Carbono.
- Respecto al diesel, corresponde una reducción del 90% en las partículas.
- De un 30 y un 40% en los Óxidos de Nitrógeno.

## 2.2. Aplicaciones

El gas natural para uso vehicular es una gran alternativa para sustituir el uso de la gasolina principalmente para aquellas empresas que cuentan con flotillas de reparto, vehículos utilitarios, flotas de transporte público y taxis, otorgando una reducción considerable de los gastos de operación y mantenimiento, además de disminuir el daño por efecto de emisiones contaminantes al medio ambiente.

Así mismo el gas natural también puede utilizarse en flotillas de montacargas, mejorando sustancialmente los gastos de operación, el ambiente de trabajo y la productividad del personal en las naves industriales por su menor emisión de gases perjudiciales a la salud.

### Ventajas

- **Economía:** Sobre la base de una equivalencia por litro, el gas natural le permite obtener considerables ahorros respecto a la gasolina.
- **Ecología:** Reduce las emisiones contaminantes que dañan al medio ambiente hasta en un 90% respecto a otros energéticos. Además mejora la imagen corporativa de las empresas ante la comunidad al utilizar un combustible ecológico.

- **Seguridad:** Es menos susceptible a accidentes a diferencia de otros combustibles, ya que el gas natural requiere de temperaturas más altas para su ignición. Es más ligero que el aire, lo cual dificulta su acumulación y por consecuencia, la posibilidad de algún incidente. Además los tanques utilizados en los vehículos para almacenar el gas natural vehicular son más resistentes que los de la gasolina.
- **Confiabilidad:** No hay posibilidades de fraude, ya que no se puede transvasar gas natural de un vehículo a otro.
- **Ahorro:** Reduce el costo de mantenimiento del vehículo, ya que tiene que pasar más tiempo para cambiar el convertidor catalítico. Además para los vehículos que funcionan únicamente a GNV se prolongan los períodos para cambio de aceite y mantenimiento.
- **Dualidad:** Si ocurre una falla en el sistema de gasolina, el vehículo sigue funcionando a gas y viceversa (aplica en vehículos duales).
- **No evaporable:** No existe evaporación del combustible.

### 2.3. Tecnología

Para poder utilizarse en vehículos es necesario comprimir el gas natural a altas presiones, que permitan almacenar una cantidad aceptable de gas en los cilindros que actúan como depósitos, y así lograr cierta autonomía de la unidad. Es por ello que al gas natural para vehículos, en una de sus aplicaciones se le llama también gas natural comprimido (GNC). Las partes principales en un vehículo con instalación de GNV son (Figura 9).

1. El GNV es alimentado al vehículo a través de la válvula de llenado.
2. El GNV es almacenado en los cilindros de alta presión del vehículo.

3. Si el vehículo es “bi-fuel” se coloca un selector en el tablero que permite al conductor seleccionar entre GNV y gasolina.
4. Cuando el conductor selecciona GNV, el combustible sale del cilindro y pasa a través de la tubería de alta presión.
5. El gas entra a un regulador, el cual reduce la presión de 200 ó 250 bar a una presión más baja, dependiendo del vehículo y la tecnología utilizada.
6. Una válvula solenoide permite el paso del GNV del regulador al mezclador de gases. Esta misma válvula detiene el flujo del GNV al motor cuando el conductor selecciona gasolina.
7. EL GNV mezclado con aire fluye a través del carburador o del sistema “fuel injection” y entra a la cámara de combustión.

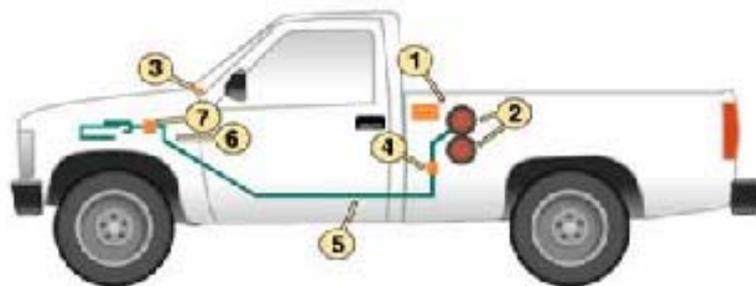


Figura 9. Partes en un vehículo con Instalación de GNV

### Partes que componen una estación de llenado rápido

- **Estación de regulación y medición (ERM):** su función, como su nombre lo indica, es regular y medir el caudal de gas natural que se suministra a la estación.
- **Sistema de Compresión:** está compuesto fundamentalmente por un compresor eléctrico que eleva la presión del gas natural desde 2 bar hasta 250 bar. Existen

diversas capacidades de compresores para satisfacer cualquier tipo de necesidad.

- **Cilindros de almacenamiento:** su función es la de incrementar la velocidad del suministro de gas y su utilización ayuda a alargar la vida útil del compresor. Están diseñados especialmente para almacenar el gas natural que ha sido comprimido
- **Surtidor:** es el dispositivo que se utiliza para transferir el gas natural comprimido desde los cilindros de almacenamiento al vehículo. Al igual que los surtidores de gasolina, puede reflejar la cantidad entregada, el precio unitario y el total a pagar.

Adicionalmente la estación debe contar con sistemas para detener el suministro en caso de emergencia, alarmas y seguridad contra incendios

### **Requisitos mínimos para establecer una estación**

Para poder instalar una estación dedicada (que sólo suministre un tipo de combustible, en esta caso el GNV) o una estación dual (que pueda proveer gasolina y GNV), se deben cumplir los siguientes requerimientos mínimos:

**Espacios físicos:** el área necesaria para instalar la Estación de regulación y medición, el compresor y los cilindros de almacenamiento es de 50 metros cuadrados (área aproximada de 8 x 6 metros). Cada surtidor que se quiera instalar, necesitará un espacio también de 50 metros (7 x 7 metros) para el surtidor mismo y los carriles para los puntos de llenado de vehículos.

**Licencias y Permisos:** se deberá contar con el permiso adecuado de uso de suelo dependiendo la entidad en la que se encuentre la estación y con el permiso especial para laborar con cilindros a presión. Además se deben realizar estudios de análisis de riesgo, de impacto ambiental y de emisiones de ruido. También se deberán cumplir los

estatutos y reglamentos que estipulen los cuerpos de bomberos, protección civil y la misma entidad en particular.

## 2.4. Ubicación de la Estación de GNV

La estación de GNV se ubicara en la ciudad de AGUAZUL – Departamento del Casanare – Colombia.

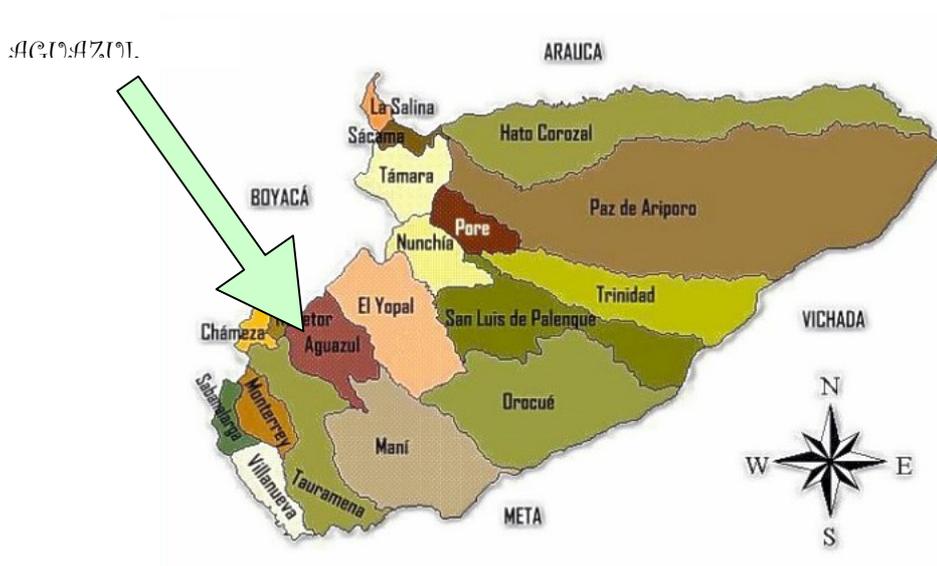


Figura 10. Ubicación Aguazul - Casanare

FUNDACIÓN	Año 1.588 Ericción como Municipio: 1.959
UBICACIÓN	A 26 km al suroccidente de la capital Casanareña, a 121 km de Sogamoso y 361 km de Santafé de Bogotá.
ALTITUD	290 mts s.n.m.
TEMPERATURA	27 Grados
EXTENSIÓN	1.330 km <sup>2</sup>
DISTANCIA DE YOPAL	27 Kms
DISTANCIA DE BOGOTA	333 Kms

La estación de Medición de Gas Natural de Aguazul, queda ubicada en la Estación de GNV de la ciudad. Esta aun no se encuentra en funcionamiento.

La función principal de la estación es entregar el gas natural que abastecerá tanto la estación de GNV como la red domiciliaria del pueblo.

Es importante anotar que la estación de Aguazul se encuentra en capacidad de abastecer de GNC, a pueblos cercanos que instalen su red domiciliaria, ya que actualmente cuenta con un compresor diseñado para este tipo de operación.

### **3. DESCRIPCIÓN TÉCNICA DE LOS POSIBLES MEDIDORES A UTILIZAR EN LA ESTACIÓN DE RECIBO DE GNV**

#### **3.1. Medidores Tipo Rotatorio**

Este tipo de instrumento tiene válvulas rotativas que giran excéntricamente rozando con las paredes de una cámara circular y transportan el gas en forma incremental de la entrada a la salida.

##### ***Principios de operación rotatoria***

Cuando la demanda corriente abajo inicia el flujo de gas, una caída de presión se produce entre la entrada y salida del medidor. Esto crea una fuerza interna en un par de impulsores en forma de relojes de arena que empiezan a rotar permitiendo que el gas empiece a fluir. A medida que los impulsores giran, el gas fluye alternamente entre dos cámaras de volumen fijo creadas entre los impulsores y la cavidad interna de la carcasa del medidor. Durante los ciclos, estas cámaras miden un volumen fijo de gas y luego lo descargan corriente abajo satisfaciendo la demanda.

Estos impulsores giran por medio de engranes sincronizados de alta precisión y hacen cuatro ciclos por cada revolución del eje del impulsor. Durante la operación, no hay contacto de metal con metal entre la carcasa del medidor y los impulsores. Ver Figura 11.

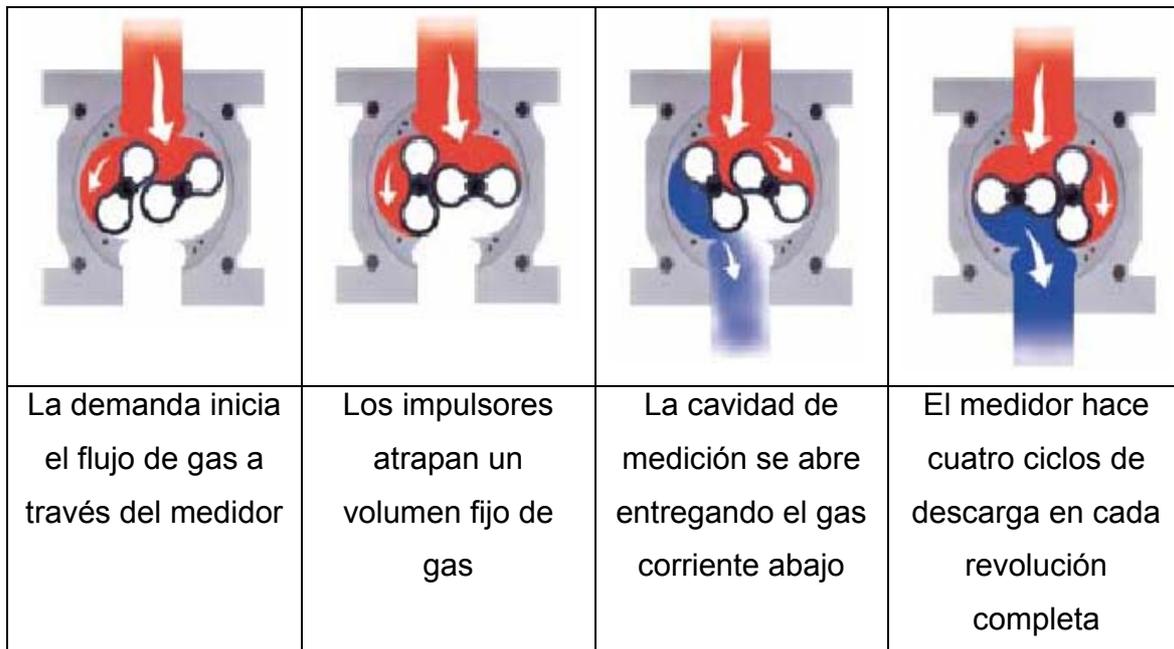


Figura 11. Funcionamiento Medidor Rotatorio

Los rotores son maquinados en una forma tal que no entran en contacto entre si en ningún momento. El número de revoluciones es proporcional al volumen del gas que pasa a través del medidor. Los medidores son macizos y pesados y relativamente ruidosos y tienden a producir vibraciones longitudinales. Sin embargo, últimamente se están construyendo con un diseño especial para disminuir y amortiguar el ruido y las vibraciones. Cuando hay fallas del suministro, ellos cortan el flujo del gas y evitan que se continúe entregando gas al consumidor.

Este medidor tiene una exactitud de  $\pm 1\%$ , para relación de capacidades de 20:1 hasta 68:1.

**Capacidades y dimensiones.** Los medidores rotatorios de desplazamiento positivo existen en varios arreglos de capacidad y de presiones nominales. El más pequeño es el ROOTS 8C175, el cual tiene conexiones de 1½ pulgadas, una capacidad de 800 pies cúbicos reales por minuto y pesa 4.75 libras. El medidor más grande es el 32 x 96 LP de ROOTS, que tiene conexiones de 36", una capacidad de 1.000.000 de pies cúbicos reales por minuto y pesa más de 25 toneladas. Aunque ya no se fabrica, existen varios

de ellos en operación en Estados Unidos. El medidor rotatorio de mayor tamaño que se fabrica actualmente en los Estados Unidos es el 102M125, que tiene una capacidad de 102.000 pies cúbicos reales por minuto.

En los últimos años se han hecho muchos cambios en los medidores rotatorios para mejorar su desempeño, su versatilidad y su manejo. Las partes rotatorias se han cambiado a aluminio para reducir su inercia. De igual manera, el uso de cuerpos de aluminio ha disminuido considerablemente su peso en relación con medidores de diafragma de capacidad equivalente.

### **3.2. Medidores Tipo Turbina**

Los medidores de flujo de turbina producen una frecuencia proporcional a la velocidad del fluido en la tubería.

El concepto de medición con turbinas es bastante antiguo. Aun cuando los primeros medidores se utilizaron para medir agua en los albores del siglo 20, los medidores de turbina para medir gas fueron desarrollados hasta comienzos de la década de 1950. Fue así como en 1953 se colocó en el mercado el primer medidor de turbina con características similares a los que se emplean hoy en día.

Se puede definir una turbina como aparato que mide en el cual el flujo de fluido es paralelo al eje del rotor y la velocidad de rotación del rotor es proporcional a la velocidad del flujo. El volumen de gas se determina contando la revolución del rotor.

El medidor de turbina consta de tres elementos básicos:

- El cuerpo
- El mecanismo de medición
- El instrumento de lectura o salida

**El Cuerpo.** El cuerpo y todas las partes que comprenden la estructura a presión deben diseñarse y construirse en un material adecuado para las condiciones de servicio a encontrar. Constituye el soporte para la rueda de la turbina montada perpendicularmente al flujo. Estos soportes se diseñan para localizar centralmente la rueda de la turbina en el cuerpo y mantener un espacio entre el diámetro externo de la rueda y el cuerpo del medidor.

**Mecanismo de Medición:** Consta del rotor, ejes del rotor, cojinetes y estructura de soporte necesaria. Existen dos configuraciones del mecanismo de medición que se distinguen por la manera en que ellas se instalan en el cuerpo del medidor. Ellas son:

- **De acceso superior o lateral:** El mecanismo de medición es removible como una unidad, a través de una brida lateral o superior sin alterar el final de la conexión
- **De acceso final:** El mecanismo de medición es removible, también como una unidad o piezas separadas, a través de los extremos finales de la conexión.

**Mecanismo de Salida:** Los medidores de turbina están disponibles con salidas de pulso eléctrico y/o mecánico. Para los mecanismos de transición mecánica la salida consiste en un árbol o eje, engranajes y otros componentes de transmisión necesarios para transmitir las revoluciones por el rotor a la parte exterior del cuerpo del medidor, para el posterior registro de volúmenes no corregidos.

Una representación esquemática del medidor de turbina axial para gas se presenta en la figura 12. El gas que entra al medidor aumenta su velocidad al pasar a través del espacio anular formado por el cono de nariz y la pared interior del cuerpo del medidor. El movimiento del gas sobre las aspas del rotor, ubicadas angularmente, imparte una fuerza al rotor, ocasionando que este gire. La velocidad rotacional ideal es directamente proporcional a la tasa de flujo. La velocidad rotacional real es función del tamaño y forma del pasaje angular y del diseño del rotor. Además, depende de la carga a la cual

se somete el rotor, debido a la fricción mecánica interna, el arrastre de fluido y la densidad del gas.

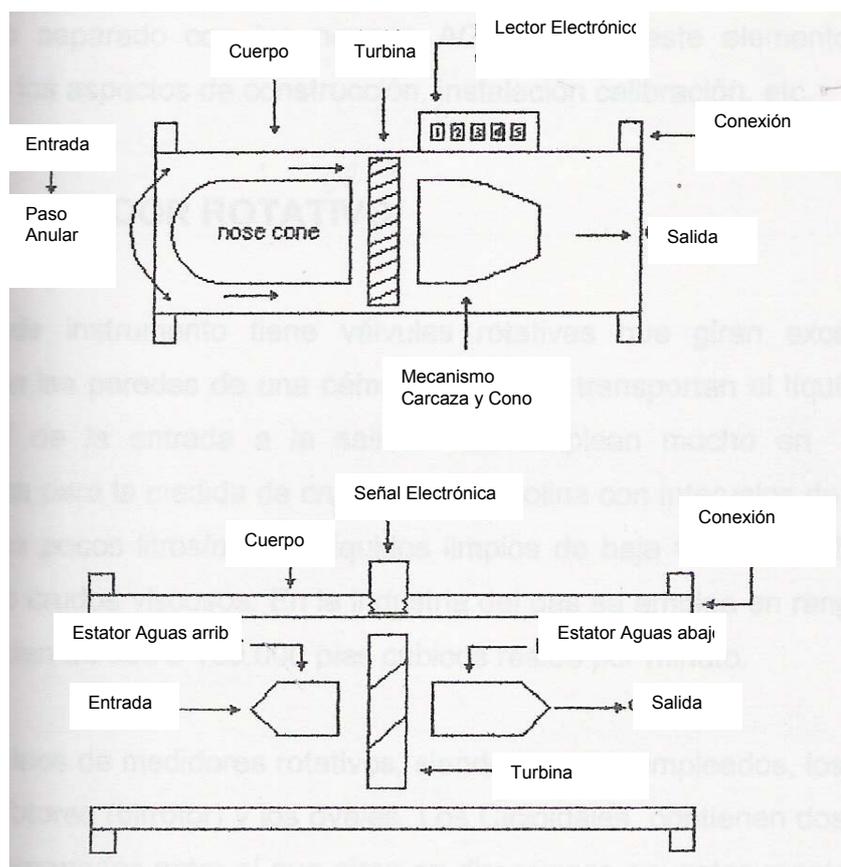


Figura 12. Medidor Tipo Turbina

### 3.3. Medidores Tipo Coriolis

Los medidores tipo Coriolis están tomando gran importancia en el uso de gas natural por su bajo costo de mantenimiento, no poseen partes móviles, alto rango de medición de flujo, medición lineal y calibración estable.

El Comité de Medición de la AGA ha desarrollado notas técnicas sobre la medición de gas natural con medidores tipo Coriolis, el cual incluye los principios de operación,

aspectos técnicos, evaluación del desempeño de la medición, análisis del error en la medición y calibración. Este documento AGA 11 no debe entenderse como norma para fines de contratos.

Los medidores de Coriolis operan bajo el principio que si una partícula dentro de un cuerpo en rotación se mueve en una dirección hacia o fuera del centro de rotación, la partícula genera fuerzas inerciales que actúan sobre el cuerpo. Los medidores de Coriolis crean un movimiento de rotación por vibración de un tubo o tubos que transportan el fluido y la fuerza inercial resultante es proporcional a la tasa de flujo másico. Este principio se muestra en Figura 13.

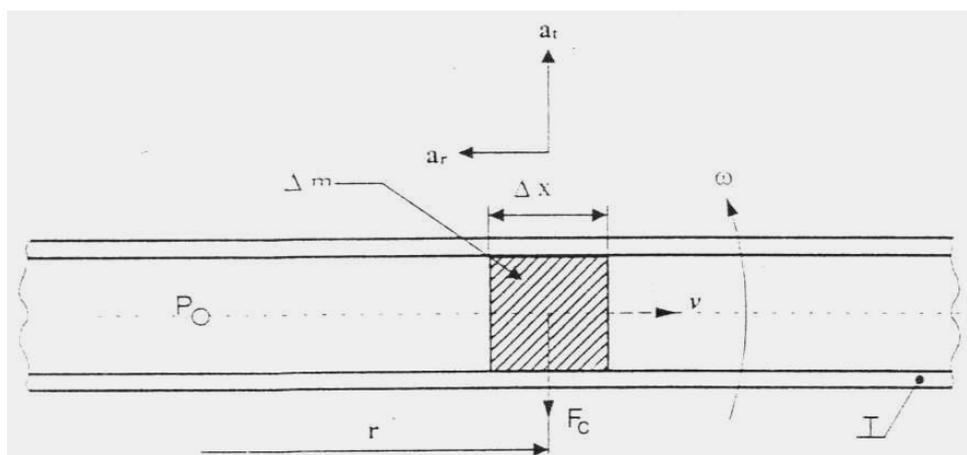


Figura 13. Principio de Operación del medidor Coriolis

#### *Consideraciones de dimensionamiento*

Actualmente los medidores tipo Coriolis para gas natural están disponibles en diámetros de línea de ¼ a 4 pulgadas. Hay tres consideraciones importantes a tener en cuenta para seleccionar el diámetro de un medidor:

- Pérdida de presión.
- Velocidad del gas en el sensor

- Máximo error permitido.

Estas consideraciones o criterios actúan recíprocamente: un dimensionamiento apropiado es aquel que conjugue una óptima caída de presión con una exactitud aceptable del medidor a velocidad de flujo aceptable. Altas pérdidas de presión velocidades de flujo de dan en diámetros pequeños pero los errores son mas bajos. Igualmente pérdida de presión y velocidades de gas son más bajos cuando un sensor de mayor diámetro es escogido, pero el error se aumenta.

## 4. DIMENSIONAMIENTO DE LOS DIFERENTES TIPOS DE MEDIDORES.

### 4.1. Datos Básicos de Diseño

#### 4.1.1. Servicio: Gas Natural

La composición del gas a la estación de GNV es la siguiente:

Tabla 1. Composición del Gas Estación GNV - Aguazul

<b>Elemento</b>	<b>% Molar</b>
Metano	76.511
Etano	11.6112
Propano	4.4445
I-Butano	0.717
N-Butano	0.7685
I-Pentano	0.1269
N-Pentano	0.0755
N-Hexanos	0.0262
Nitrógeno	0.4682
Dióxido de Carbono	5.251
Gravedad Relativa	0.7388

#### 4.1.2. Tipo de Conexión

ANSI - 150

Operación a menos de 250 psig

#### **4.1.3. Presión de entrada de gas**

Presión máxima operacional: 232 psig

Presión mínima operacional: 200 psia

#### **4.1.4. Capacidad de flujo volumétrico**

De acuerdo a la capacidad máxima de succión del compresor: 750 m<sup>3</sup>/hr.

#### **4.1.5. Instalación**

El medidor será instalado en posición horizontal y debe facilitar su conexión al computador de flujo

### **4.2. Estudio de Cada Tipo de Medidor**

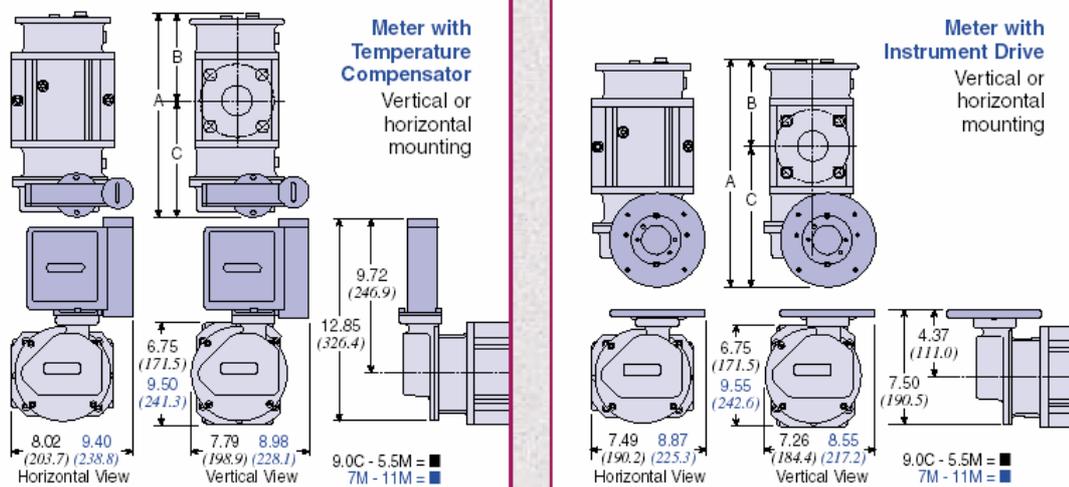
Se evaluaron diferentes tipos de marcas, de las cuales se seleccionaron por cada tipo de medidor, tres posibles tipos de equipos.

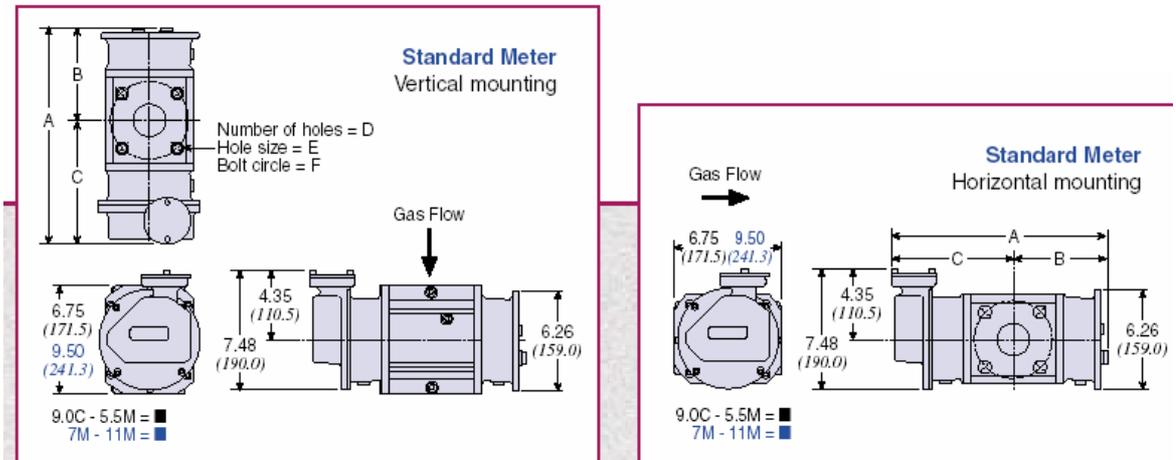
#### **4.2.1. Medidor Tipo Rotatorio**

Se evaluarán medidores Rotatorios de las siguientes marcas:

## AMERICAN METER

Description	Units	Meter Size					
		9.0C G16	1.5M G25	3.5M G65	5.5M G100	7M G130	11M G200
Q. Max. rated capacity	cfh	900	1500	3500	5500	7000	11000
Max. allowable pressure (MAOP)	psig	175	175	175	175	175	175
Rangeability ±1%		>30:1	>40:1	>75:1	>120:1	>70:1	>120:1
Rangeability ±2%		>60:1	>75:1	>140:1	>210:1	>115:1	>225:1
Start rate	cfh	<3.0	<3.0	<4.0	<4.4	<5.5	<5.5
Flow rate @ 0.5", gas	cfh	900	1500	2000	4500	4450	6000
Differential 100% flow, gas	in. w.c.	0.22	0.35	1.04	0.68	1.14	1.73
Drive register/I.D.	cf/rev	10	10	10	10/100	10/100	10/100
Max. operating speed	rpm	2043	2358	2950	2425	2098	2414
Flange/flange dimension	in.	6.75	6.75	6.75	6.75	9.50	9.50
Nominal pipe size	in.	1.5/2	1.5/2	2	2/3	3	4
Carton size	in.	16"H x 12"W x 21.5"L				TBD	TBD
Shipping weight	lbs.	26	33	30	42	65	75





**Standard meter with and without temperature compensator**

Horizontal and vertical mounting

Meter Size	9.0C G16	1.5M G25	3.5M G65	5.5M (2") G100	5.5M (3") G100	7M G130	11M G200
A	13.460 (341.90)	14.960 (380.00)	12.950 (328.90)	16.890 (429.00)	16.890 (429.00)	16.400 (413.56)	18.160 (461.26)
B	5.810 (147.60)	6.390 (162.30)	5.390 (136.90)	7.360 (186.90)	7.360 (186.90)	6.970 (177.04)	7.980 (202.70)
C	7.650 (194.30)	8.570 (217.70)	7.560 (192.00)	9.530 (242.10)	9.530 (242.10)	9.170 (232.92)	10.120 (257.05)
D	4	4	4	4	4	4	8
E (ANSI)	5/8-11	5/8-11	5/8-11	5/8-11	5/8-11	5/8-11	5/8-11
E (metric)	M16X2	M16X2	M16X2	M16X2	M16X2	M16X2	M16X2
F (ANSI)	4.750 (120.65)	4.750 (120.65)	4.750 (120.65)	4.750 (120.65)	6.000 (152.40)	6.000 (152.40)	7.500 (190.50)
F (metric)	4.924 (125.00)	4.924 (125.00)	4.924 (125.00)	4.924 (125.00)	6.299 (160.00)	6.299 (160.00)	7.087 (180.00)
Weight lbs. (kg.)	22.7 (10.30)	30.3 (13.70)	27.0 (12.30)	38.5 (17.50)	38.5 (17.50)	63.1 (28.62)	73.5 (33.31)
Weight with temp comp. lbs. (kg.)	26.0 (11.80)	33.6 (15.30)	30.3 (13.80)	41.8 (19.00)	41.8 (19.00)	66.4 (30.12)	76.8 (34.82)

**Meter with instrument drive**

Horizontal and vertical mounting

Meter Size	9.0C G16	1.5M G25	3.5M G65	5.5M (2") G100	5.5M (3") G100	7M G130	11M G200
A	15.200 (386.10)	17.020 (432.30)	15.020 (381.50)	19.020 (483.10)	19.020 (483.10)	18.530 (470.66)	20.290 (515.37)
B	5.810 (147.60)	6.390 (162.30)	5.390 (136.90)	7.360 (186.90)	7.360 (186.90)	6.570 (166.88)	7.980 (202.70)
C	9.390 (238.50)	10.630 (270.00)	9.630 (244.60)	11.660 (296.20)	11.660 (296.20)	11.300 (287.02)	12.310 (312.67)
D	4	4	4	4	4	4	8
E (ANSI)	5/8-11	5/8-11	5/8-11	5/8-11	5/8-11	5/8-11	5/8-11
E (metric)	M16X2	M16X2	M16X2	M16X2	-	M16X2	M16X2
F (ANSI)	4.750 (120.65)	4.750 (120.65)	4.750 (120.65)	4.750 (120.65)	6.000 (152.40)	6.000 (152.40)	7.500 (190.50)
F (metric)	4.924 (125.00)	4.924 (125.00)	4.924 (125.00)	4.924 (125.00)	-	6.299 (160.00)	7.087 (180.00)
Weight lbs. (kg.)	24.3 (11.00)	31.9 (14.50)	28.6 (13.00)	40.1 (18.20)	40.1 (18.20)	64.7 (29.34)	75.1 (34.16)

Corrected capacity at metering pressure – (scfh)							Local Atm Pressure - (psia)	14.37
							Sea Level Atm Pressure - (psia)	14.73
Badged Rating 0.25 PSIG	Meter Size							
	9.0C 900	1.5M 1500	3.5M 3500	5.5M 5500	7M 7000	11M 11000		
1	939	1565	3652	5739	7304	11478		
3	1061	1769	4127	6486	8255	12971		
5	1184	1973	4603	7233	9205	14465		
10	1489	2482	5791	9099	11581	18199		
15	1795	2991	6979	10966	13957	21933		
20	2100	3500	8167	12833	16333	25667		
25	2405	4009	9355	14700	18709	29401		
30	2711	4518	10543	16567	21086	33134		
40	3322	5537	12919	20301	25838	40602		
50	3933	6555	15295	24035	30590	48070		
60	4544	7573	17671	27769	35342	55538		
70	5155	8592	20047	31503	40094	63005		
80	5766	9610	22423	35237	44847	70473		
90	6377	10628	24799	38970	49599	77941		
100	6988	11647	27175	42704	54351	85409		
110	7599	12665	29552	46438	59103	92876		
120	8210	13683	31928	50172	63855	100344		
125	8515	14192	33116	52039	66232	104078		
130	8821	14702	34304	53906	68608	107812		
140	9432	15720	36680	57640	73360	115280		
150	10043	16738	39056	61374	78112	122747		
160	10654	17757	41432	65108	82864	130215		
170	11265	18775	43808	68841	87616	137683		
175	11570	19284	44996	70708	89993	141417		

Options	Meter Size						
	9.0C G16	1.5M G25	3.5M G65	5.5M G100	7M G130	11M G200	
Type	english or metric						
Connections	NPT or flanged	NPT or flanged	flanged	flanged	flanged	flanged	
Pipe size	1.5' or 2'	1.5' or 2"	2"	2' or 3"	3"	4"	
Mounting	vertical or horizontal						
Counter	4, 5 or 6 digit						
Output drive	regular, TC, or instrument drive						
Multiplier	10, 100						
H.D. pulser	yes or no						<b>OPTIMO</b>

## 4.2.2. Medidores Tipo Turbina

Se evaluarán medidores de Turbina de las siguientes marcas:

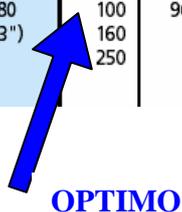
### INSTROMET

Referencia:	<b>SM-RI-X</b>	
Precisión:	±0.5% uncertainty (Better accuracies available)	
Capacidad	13 - 40,000 m³/h (455 - 1,400,000 cfm)	
Diámetros	DN50 - DN750, 2" - 30"	
Flange Ratings:	PN10 - PN100, ANSI150# - ANSI900#	
Frequency :	1 or more proximity probes	
Index:	1 or more proximity probes	
Presión:	up to 100 bar (1,450 psi)	
Turn-Down Ratio:	1:20 at atmospheric pressure (1:50 at 20 bar; 1:100 at 50 bar)	
Flow Conditioner:	Built-in X4X®, fulfills ISO 9951 with only 2D upstream piping	
Ranges:	G40 - G25,000	

pipe size mm (inch)	G- rating	measurement range (m³/h) Qmin-Qmax *1	pressure loss at Qmax natural gas $\rho=0.8 \text{ kg/m}^3$	m³ per rev	LF pulses per rev		HF- index Hz at Qmax	No. of turbine blades	HF Signal reference wheel Hz at Qmax *2	Turbine wheel * 4	
					1	10				ALU	Delrin
50 (2")	G 40	13- 65	3	0.1	10	100	136	1690 * 3 2600 * 3	●	○	
	G 65	10- 100	6.5	0.1	10	100	210		12	●	○
80 (3")	G 100	8- 160	3	1	1	10	105	1280 * 3 2000 * 3 1800 * 3	●	○	
	G 160	13- 250	8	1	1	10	163		12	●	○
	G 250	20- 400	21	1	1	10	149		12	●	-
100 (4")	G 160	13- 250	2	1	1	10	98	1100 * 3 1760 * 3 1570 * 3	●	○	
	G 250	20- 400	5	1	1	10	158		16	●	○
	G 400	32- 650	13	1	1	10	143		16	●	-
150 (6")	G 400	32- 650	3.5	1	1	10	151	1180 1815 1060 1700	●	○	
	G 650 ≤ 10 bar	50- 1,000	8.5	1	1	10	232		20	●	○
	G 650 ≥ 10 bar	50- 1,000	7.0	1	1	10	133		20	●	○
	G 1000	80- 1,600	16.5	1	1	10	213		20	●	-
200 (8")	G 650	100- 1,000	1.5	10	0.1	1	55	770 1180 1060	●	-	
	G 1000	80- 1,600	3	10	0.1	1	85		20	●	-
	G 1600	130- 2,500	8	10	0.1	1	83		20	●	-
250 (10")	G 1000	80- 1,600	1.5	10	0.1	1	88	825 1320 1200	●	-	
	G 1600	130- 2,500	4.5	10	0.1	1	142		24	●	-
	G 2500	200- 4,000	10	10	0.1	1	126		24	●	-

*Dimensiones:*

Sizes mm (inch)	G-Rating	A	B	E	H	Over-all length	Pressure rating	Body material	Wgt. kg.	Pressure rating	Body material	Wgt. kg.
50 (2")	40 65	60	N.A.	N.A.	235	150	ND 10/16 ANSI 125/150	GGG 40	10	ND 100	St	26
									20	ANSI 150	18	
									20 23	ANSI 300 ANSI 400 ANSI 600	20 20	
80 (3")	100 160 250	96	N.A.	N.A.	205	240	ND 10/16 ANSI 125/150	GGG 40	15	ND 100	St	34
									26	ANSI 150	24	
									26 30	ANSI 300 ANSI 400 ANSI 600	28 28	



## LIQUID CONTROLS

Salida linear excepcionalmente precisa, económica, medidas de fluido volumétrico para baja y limpia viscosidades de líquidos y gases.

Ideal para condiciones de alta temperatura presión, incluyendo gases (metano, gas natural, CO2, CNG, etc.), criogénicos (hidrógeno, oxígeno, nitrógeno, etc.), LPG (gas líquido de propano), mercaptans, gasolina, condensados, alcohol y una multitud de otros derivados, índice de control de caudal y aplicaciones para transferir custodia.

### Características:

- Alta precisión y repetibilidad
- Bajo mantenimiento y mínima caída de presión
- Operación de alta presión, hasta 2,500-lb. ANSI
- Operación en extremas temperaturas (-450°F hasta +1,000°F para líquidos y -450°F hasta +750°F para gases)
- Certificado FM y CSA, Clase I, Grupo B, C, & D y Clase II, Grupo E, F, & G NEMA 4X
- Caudales desde 0.25 GPM (1/4") hasta 12,000 GPM (12")

- Disponible en una selección de 304, 316/316L Acero Inoxidable, Latón, Aluminio, Aloy 20 y plástico, incluyendo series Corrosivas y Sanitarias
- Salida análoga y/o digital, Transmisores Análogos de poder con circuitos de 3 alambres o 2 alambres los cuales convierten linealmente una frecuencia de entrada a un voltaje de ( 0-5V/ 0-10V), corriente (4-20mA) salida, o pulso de salida escalado



## ELSTER

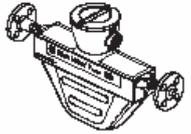
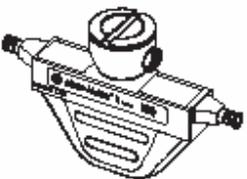
	Turbine Meter	Turbine Meter	Quantometer	
Type:	TRZ / TRZ-IFS	ETM	Q	
Size:	G 65 – G 16000	G 100 – G 1600	G 65 – G 16000	
Nominal width:	DN 50 – DN 600	DN 80 – DN 200	DN 50 – DN 600	
Nominal pressure:	PN 10 – 100 / ANSI 150 - 600	PN 10 – 16 / ANSI 150	PN 10 – 100 / ANSI 150 - 600	
Housing material:	EN GJS-400-15, G20Mn5 N, steel, welded	EN GJS-400-15	EN GJS-400-15, G20Mn5 N, steel, welded	GS-C25 N
Temperature range:				
– gas	-20 °C to +60 °C	-20 °C to +60 °C	-20 °C to +60 °C	-10 °C to +60 °C
– ambient	-20 °C to +70 °C	-20 °C to +70 °C	-20 °C to +70 °C	-10 °C to +70 °C



### 4.2.3. Medidor Tipo Coriolis

Se evaluarán medidores Coriolis de las siguientes marcas:

#### EMERSON – MICRO MOTION

<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mayor caudal y rangeabilidad</li> <li>• Mayor rendimiento de densidad</li> <li>• Excelente inmunidad a los efectos de campo tales como presión, temperatura y vibración</li> <li>• La contención secundaria de presión es estándar</li> <li>• Tamaños nominales de línea desde 3 hasta 150 mm</li> </ul>	<p style="text-align: center;"><b>ELITE</b></p> 
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Precisión a 0,2% en líquidos y 0,5% en gases, con opción de precisión de 0,15% disponible en líquidos con transmisores MVD</li> <li>• Contención secundaria opcional</li> <li>• Tamaños nominales de línea desde 6 hasta 75 mm</li> </ul>	<p style="text-align: center;"><b>SERIE F</b></p> 
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Precisión a 0,15% en líquidos y 0,5% en gases Autorizado por 3-A y aprobado por EHEDG para aplicaciones higiénicas</li> <li>• El acabado de superficie interno de 32 Ra es estándar</li> <li>• Acabado exterior pulido fácil de limpiar</li> <li>• Contención secundaria opcional</li> <li>• Tamaños nominales de línea desde 6 hasta 75 mm</li> </ul>	<p style="text-align: center;"><b>SERIE H</b></p> 

	Caudal <sup>(1)</sup>		Temperatura
	Transmisores con Tecnología MVD	Todos los otros transmisores	
<i>Sensores multivariables de alta precisión</i>			
ELITE	±0,35%	±0,50%	±1 °C
Serie F	±0,50%	±0,70%	±1 °C
Serie H	±0,50%	±0,70%	±1 °C

		Tamaño de línea (mm)	Caudal máximo (kg/h o l/h)	Rango nominal de caudal 0 a _____ (kg/h o l/h) <sup>(1)</sup>	Rango de temperatura (°C) <sup>(2)</sup>	Valor nominal de presión para el tubo de caudal (bar)	
<i>Sensores multivariantes de alta precisión</i>							
ELITE	CMF010P	3 a 6	108	82	-240 a +204 <sup>(3)(4)</sup>	413	
	CMF010	3 a 6	108	82			
	CMF025	6 a 12	2180	1090	-240 a +204 <sup>(3)(4)</sup>	Acero inoxidable: 100  Aleación de níquel: 148	
	CMF050	12 a 25	6800	3400			
	CMF100	25 a 50	27200	13600			
	CMF200	50 a 80	87100	43550			
		CMF300	80 a 100	272160	136080	0 a +343	80 a 343 °C
		CMF300A	80 a 100	272160	136080	-240 a +204 <sup>(3)(4)</sup>	100
	CMF400	100 a 150	545500	409000			
Serie F	F025P	6 a 12	2720	1360	-100 a +180 <sup>(3)(5)</sup>	158	
	F025	6 a 12	2720	1360	-100 a +180 <sup>(3)(5)</sup>	100	
	F050	12 a 25	8160	4080			
	F100	25 a 50	32650	16325			
		F200	50 a 75	87100	43550		
Serie H	H025	6 a 12	2068	1034	-100 a +180 <sup>(3)(5)</sup>	100	
	H050	12 a 25	4900	2450			
	H100	25 a 50	22320	11160			
	H200	50 a 75	63960	31980			

**OPTIMO** →

**Caudales típicos que producen una caída de presión de aproximadamente 3,4 bar en gas natural (MW 16.675) a 20 °C y 34,0 bar**

CMF010	32	28	44
CMF025	445	378	598
CMF050	1135	965	1526
CMF100	5016	4263	6741
CMF200	15,239	12,950	20,478
CMF300	50,500	42,913	67,861
CMF400	127,864	108,664	171,822

(1) Las condiciones estándar (SCFM) de referencia son 14,7 psia y 20 °C. Las condiciones normales (Nm<sup>3</sup>/hr) son 1,013 bar-a y 0 °C.

**OPTIMO** →

## KROHNE

*Serie 7000 Tubo Recto Unico*

Conexiones

Brida, Tri Clamp, SMS, DIN 11864

Categoría de protección

IP67

*Piezas en contacto de Titanio*

Temperatura del Proceso  
Presión de Trabajo

-30°C a + 150°C (-22°F + 302°F)  
63 barg, maximo (910 psig)



## 5. SELECCIÓN DEL TIPO DE MEDIDOR A UTILIZAR

Se han tomado 3 tipos de medidores para su estudio y decisión de instalación en la estación de medición para la Estación de GNV en Aguazul – Casanare. Ver Tabla 1.

Tabla 2. Medidores escogidos para ser evaluados

<b>MEDIDOR</b>	<b>MARCA</b>	<b>MODELO</b>
Tipo Rotatorio (1)	Instromet	IRM -3 G100
Tipo Rotatorio (2)	American Meter	5.5M G100
Tipo Turbina	Instromet	SM-RI-X – G-100
Tipo Coriolis	Emerson MicroMotion	CMF 200

### 5.1. Costo de los Medidores

Las Cotizaciones recibidas de cada uno de los medidores escogidos, nos presentaron los siguientes valores.

Tabla 3. Costo (U\$) por Medidor

<b>MEDIDOR</b>	<b>COSTO (U\$)</b>
Instromet - IRM -3 G100	4.900
American Meter - 5.5M G100	5.500
Instromet - SM-RI-X – G-100	6.500
<b>Emerson MicroMotion - CMF 200</b>	<b>14.000</b>

## 5.2. Evaluación por las condiciones operacionales.

En la estación de Aguazul – Casanare, tenemos el siguiente caso: La ubicación del compresor para el uso de GNV, esta ubicada a escasos 15 metros de la estación de Medición. Esto nos lleva a analizar que el perfil de velocidad por efecto del compresor de GNV, altera el normal funcionamiento de los medidores tipo TURBINA, ya que la fuerza que ejerce el compresor altera el normal funcionamiento del medidor.

Instromet - SM-RI-X – G-100

Perfil de Velocidad (NO CUMPLE)



Figura 14. Lugar de ubicación de la Estación y del Compresor

## 5.3. Costos de Mantenimiento y Operación

Los Medidores tipo coriolis no tiene parte móviles como si la tienen los de turbina y rotatorio, por lo tanto sus costos de Operación y Mantenimiento son bajos.

Los Medidores Tipo Rotatorio y Tipo Turbina son muy susceptibles al arrastre de polvos y sólidos, mientras que el de Coriolis no se ve tan afectado.

Tabla 4. Costos por Operación y Mantenimiento

MEDIDOR	OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO
Instromet - IRM -3 G100	Alto
American Meter - 5.5M G100	Alto
Instromet - SM-RI-X – G-100	Alto
Emerson MicroMotion - CMF 200	Media

#### 5.4 Exigencias de instalación

El medidor rotatorio no es tan exigente como los otros dos, porque no requiere distancia de tubería recta como si los requiere el de turbina. El de coriolis exige impedir la formación de condensados en los tubos sensores.

Tabla 5. Costos por Instalación

MEDIDOR	INSTALACION
Instromet - IRM -3 G100	BAJA
American Meter - 5.5M G100	MEDIA
Instromet - SM-RI-X – G-100	MEDIA
Emerson MicroMotion - CMF 200	ALTA

#### 5.5. Normatividad para Instalación.

Como sistema de transferencia de custodia los tres poseen normas internacionales, para su instalación.

### 5.5.1. Medidor Rotatorio

La Norma ANSI B109.3 no especifica longitudes rectas de tubería aguas arriba y aguas abajo del medidor, regla general que se aplica a los medidores de desplazamiento positivo. Se debe disponer de una línea de bypass de 2" de diámetro con válvula de bloque y válvula de alivio, facilitando el mantenimiento del medidor en caso de fallas operacionales. Para evitar el arrastre de materiales sólidos o líquidos se instala un sistema de filtración. El cuerpo del medidor debe poseer doble facilidad para las señales de presión y temperatura que sean enviadas al corrector de flujo. El medidor rotatorio requiere de una protección por sobrevelocidad, la cual podría ser ocasionada por caídas bruscas de presión aguas abajo del medidor, para tal fin se debe instalar un orificio de restricción el cual se diseña para manejar entre el 120% y el 150% del flujo máximo. La instrumentación que exige un medidor rotatorio como son las señales de presión y temperatura se encuentran localizadas en el cuerpo del medidor para ser enviadas al corrector de flujo, la señal de temperatura se realiza mediante RTD o Termopar y la señal de presión puede ser enviada en forma directa sin necesidad de instalar transmisor o transductor de acuerdo a las especificaciones del computador de flujo. Para evitar daños en el medidor rotatorio se hace necesario construir una línea de presurización para puesta en servicio.



Figura 15. Medidor Rotatorio Instalado

### 5.5.2. Medidor Turbina

La instalación recomendada requiere una longitud de tubería recta de 10 diámetros nominales, aguas arriba, con la salida de los enderezadores de flujo localizada a cinco diámetros nominales de la entrada al medidor. Aguas abajo del medidor se recomienda una longitud de cinco diámetros nominales. Tanto la tubería de entrada como la de salida deben tener el mismo diámetro nominal del medidor.

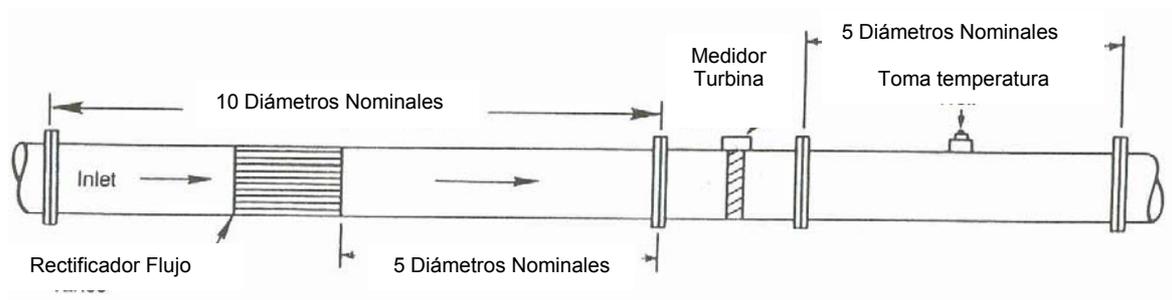


Figura 16. Instalación recomendada del Medidor tipo Turbina

No se recomienda la instalación de reguladores o válvulas parcialmente cerradas en la proximidad del medidor. En los casos donde se necesite la anterior instalación, el regulador debe ubicarse ocho diámetros nominales adicionales (total 18D) aguas arriba o dos diámetros nominales (total 7D) aguas abajo.

### 5.5.3. Medidor Coriolis

#### Montaje

- Un montaje apropiado del medidor es necesario. Se debe considerar el soporte del sensor y la alineación de las bridas de entrada y salida con el sensor. Un tramo de

tubería debe usarse en lugar del medidor para alinear la tubería durante la fase de la construcción.

- b) La tubería debe cumplir los códigos y normas establecidas. El desempeño del medidor, específicamente la estabilidad del cero puede afectarse por esfuerzo axial, torsión y efectos térmicos. Un diseño adecuado del sistema previene la existencia de estos efectos negativos al desempeño del medidor.
- c) El transmisor de Coriolis debe instalarse de tal forma que se facilite su inspección y las comunicaciones

#### *La orientación del medidor*

Como una regla general, los tubos del sensor se deben orientar de tal manera que se minimice la posibilidad de que componentes más pesados, como condensados se separen en el sensor que esta vibrando. Los sólidos, sedimentos o líquidos arrastrados pueden afectar el desempeño del medidor. La orientación del sensor también depende de la geometría del sensor.

#### *Efecto de perfil no uniforme de flujo (remolinos)*

El efecto de remolino en el fluido y perfiles de velocidad no uniformes causados por la configuración del sistema aguas arriba y aguas abajo del medidor inciden en el desempeño del medidor según el diseño del mismo, condiciones de longitudes rectas de tubería antes y después del medidor pueden no ser requeridas. Se recomienda evaluar estos efectos potenciales a nivel de ensayos.

#### *Efectos de contaminantes como lubricantes, líquidos y polvos.*

Pruebas desarrolladas han demostrado que arrastres de líquidos en corrientes de gas no tienen el mismo efecto en la medición que arrastres de gas en corrientes de líquidos, sin embargo la medición se realiza teniendo en cuenta el cambio de densidad por los arrastres. De otra parte la geometría del sensor podría aliviar la desviación por arrastres

en el fluido. Se deben implementar sistemas de remoción de sólidos antes de la medición.

*Vibración y pulsación de fluido*

Durante el desarrollo de los medidores análisis y pruebas de campo y laboratorio han derivado diseños que admiten una gama amplia de condiciones de vibración y pulsaciones.

**5.6. Selección del medidor a Instalar**

Las ventajas y desventajas de cada tipo de medidor evaluado se presentan en la Tabla 6.

Tabla 6. Ventajas y Desventajas de los Medidores

<b>VENTAJAS</b>	<b>DESVENTAJAS</b>
<b>TURBINA</b>	
Buena Exactitud Buena Rangeabilidad (10:1) Baja Caída de Presión Diseño Probado	Susceptible a daños por sólidos o líquidos en el gas Requiere filtro aguas arriba Requiere chequeo periódico de calibración Exposición a sobrevelocidad puede dañar el medidor
<b>ROTATORIO</b>	
Adecuado para volúmenes bajos Lectura Directa Alta exactitud Baja sensibilidad a perfil de velocidad	El flujo se suspende si el medidor falla Requiere filtro agua arriba Susceptible a daño por sobre-rango Requiere fluidos limpios

<b>CORIOLIS</b>	
No posee partes móviles	Altos Costos de Instalación
Bajos costos de mantenimiento	Altos Costo de Adquisición.
Alta Exactitud	
Buena Rangeabilidad	

Una vez evaluados los diferentes tipos de medidores a saber: Turbina, Rotatorio y Coriolis se descarta el uso del medidor tipo Turbina por los efectos de pulsación y perfil de velocidad no uniforme causados por la operación del compresor.

Lo anterior plantea elegir entre los medidores Rotatorio y Coriolis.

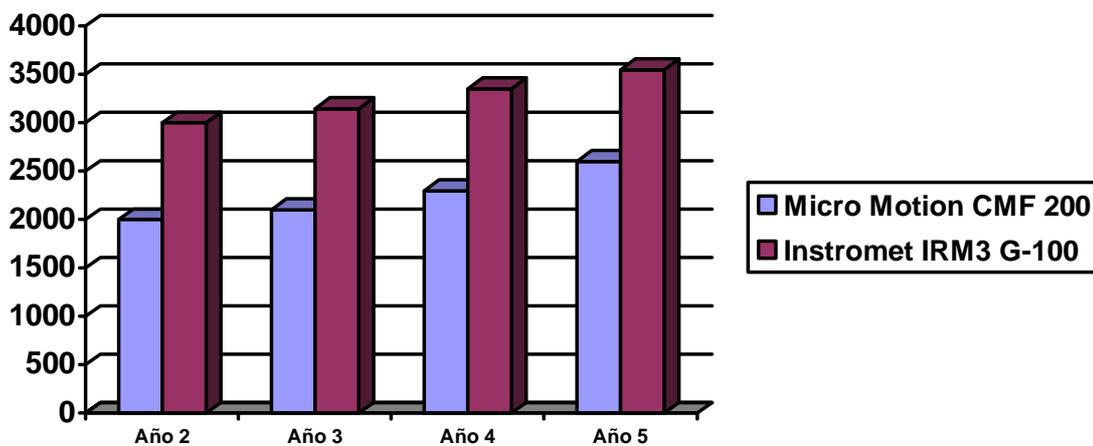
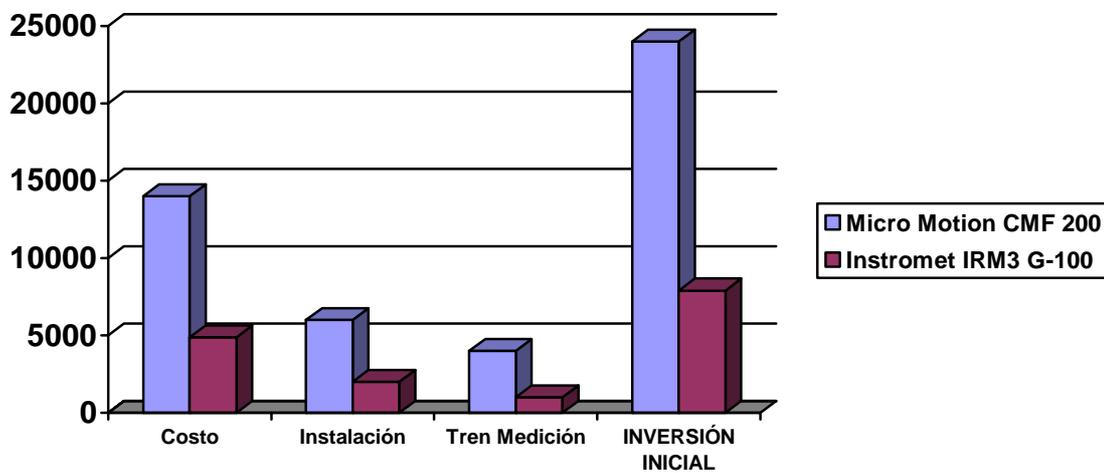
Todos los medidores estudiados tipo Rotatorio y Coriolis, son aptos para la operación en la estación de medición de Aguazul. Así que los aspectos a evaluar serían económicos en cuanto a instalación, mantenimiento y adquisición.

En segunda instancia prevalece el sentido económico. El medidor Coriolis es mucho más costoso que el Rotatorio, pese a su menor costo de mantenimiento. Por esta razón se escoge el Medidor Rotatorio.

Entre las dos marcas evaluadas Instromet y American Meter; prevaleció el criterio económico, eligiendo el medidor INSTROMET IRM3 G-100

En la Figura 17, se presenta la evaluación económica con todos los factores que intervienen en la elección del tipo de medidor. Se evalúan el Medidores Coriolis Micro Motion CMF-200 y el Rotatorio Instromet IRM3 G-100

Figura 17. Evaluación Económica a 5 Años.



**EL MEDIDOR ESCOGIDO POR COSTO Y BAJA OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO  
ES EL MEDIDOR TIPO ROTATORIO MARCA INSTROMET REF. IRM3 G-100**

## 6. ESCOGENCIA DEL MEDIDOR ROTATORIO IRM3 – G100 (3”) MARCA INSTROMET

### 6.1. Características del Medidor Instalado

#### *El Giro Proporcional*

Para todos los medidores rotatorios, su funcionamiento se determina por la cantidad de gas que sale por los rotores. El nuevo diseño radical de Instromet permite que una pequeña cantidad de gas gotee a través de la cámara de medición dando el mejor giro proporcional de todos los medidores convencionales. El IRM 3 también tiene varios rasgos especiales.

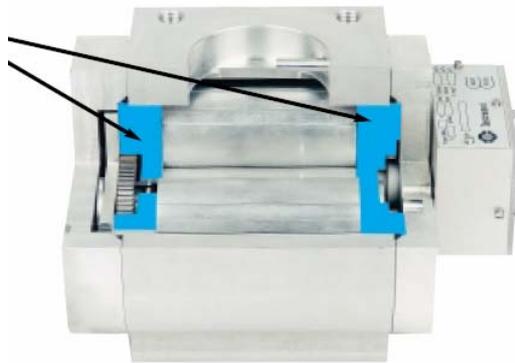
El aspecto más llamativo del IRM 3 es la forma cuadrada de los rotores donde la longitud de cada rotor es igual a su ancho. Ver Figura 17. Los rotores contienen el posible volumen de gas para el contorno más pequeño y esto reduce a un mínimo las áreas donde el gas no registrado puede pasar. Los dos lóbulos de los rotores que son más grandes tienen puntas más anchas que de nuevo reducen el goteo. Los rotores agitan a una velocidad más lenta para una proporción de flujo equivalente, aumentando la vida de los aparatos y haciendo el medidor mucho más silencioso.



Figura 17. El perfil cuadrado del rotor IRM 3 (L) comparado a un convencional (R)

### *INSENSIBLE A LAS TENSIONES DE LA INSTALACIÓN*

Normalmente el rasgo más vulnerable de un medidor rotatorio convencional es la sensibilidad del cuerpo a tensiones causadas por la instalación. Con todo el aluminio de los medidores rotatorios (salvo por el diseño del cartucho) incluso el de los desalineamientos pequeños en la instalación pueden torcer el cuerpo alterando los espacios del rotor y en varios casos causando bloqueo en los rotores. Para evitar este efecto debe prestarse atención especial a la construcción del cuerpo del medidor como el material usado (aluminio) el cual tiende a deformarse bajo tensión. El IRM 3 tiene platos macizos terminados que dan una rigidez al medidor tal que su funcionamiento no es afectado bajo las condiciones de doblamiento, torsión o vibración. Ver figura 18.



*Figura 18. El diseño del cuerpo también amortigua el sonido causado por las partes internas en movimiento y contribuye al silencio del medidor.*

### *TOTALMENTE RESISTENTE*

Aunque un medidor es un instrumento de precisión que puede estar sujeto bajo las condiciones del campo al mal manejo y maltrato; como cargar excesivamente el medidor de flujo, paros en la presión, impurezas en el gas, etc. Bajo estas circunstancias los rotores o sus engranajes se pueden doblar o torcer produciendo

su cerrado con daños serios subsecuentes. La construcción en orillas al mar es muy resistente a este tipo de abuso.

En la mayoría de tipos de medidores rotatorios, la parte más débil de la construcción interior normalmente es el eje principal. Estos ejes en que los momentos del engranaje son colocados, tienen una tendencia particular a torcerse debido a su angosto diámetro. Desde que la presión principal es colocada sobre el eje, entre el rotor y el momento del engranaje, el diámetro del eje y por consiguiente su fuerza se limita a las dimensiones particulares de la presión. Aumentando el diámetro del eje y así su fuerza, requeriría una presión más grande con la disminución consiguiente al giro proporcional



*Figura 19. Las presiones pueden reemplazarse sin perturbar el momento de engranaje.*

El IRM 3 usa un concepto radical diferente. En el IRM 3 el momento de engranaje es colocado entre el rotor y la presión principal, mientras quita cualquier limitante al tamaño del eje. La resistencia resultante a torsión es por lo menos superior 10 veces que en otros medidores que hacen del IRM 3 haciéndolo menos sensible a medir errores por mal manejo.

### *LA FACILIDAD DE MANTENIMIENTO Y REPARACIÓN*

La posición modificada de las presiones le da otra única ventaja al IRM 3. Poniendo los momentos de engranaje entre el rotor, la presión principal del medidor puede desmontarse, y las presiones pueden reemplazarse sin quitar los engranajes del eje. Durante el desmonte del engranaje el tiempo no se perturba, haciendo del reemplazo de las presiones un trabajo fácil y rápido, incluso para trabajos menos experimentados.

### *EL PESO MÍNIMO Y DIMENSIONES DE LA INSTALACIÓN*

Usando el diseño del Rotor de forma cuadrada, las dimensiones y peso del medidor son completamente diferentes a los diseños convencionales. La longitud de la brida del medidor está de acuerdo con las normas estándares y por consiguiente el IRM 3 es intercambiable con otro medidor trasladado. Pero su mejor perfeccionamiento esta en la profundidad de la instalación. La experiencia muestra de que el intercambio entre, por ejemplo, medidores de gas de turbina y los medidores trasladados de gas no siempre es posible desde que la profundidad de la instalación del medidor de la turbina es más pequeña que la de un medidor tipo desplazamiento positivo. Las instalaciones en locaciones cerradas en dónde las tuberías adyacentes están cerca de una pared, presentan problemas en particular. Desde que la profundidad de la instalación del IRM 3 es escasamente más grande que las bridas adyacentes, su profundidad es comparable a otros tipos de medidor como los de turbina.

La longitud del medidor es aproximadamente 40% más pequeño en tamaño que los medidores tipos convencional, y por consiguiente el peso del IRM 3 es significativamente menor. Incluso el más grande es de 62 kilos (137 lbs) y no exige ser instalado en suelo.

## *LA RUPTURA EN LOS LIMITES MEDIDOR ROTATORIO*

Una característica de los medidores rotatorios es que en el traslado alternado de gas por los dos rotores causa pulsaciones en el medidor.

El efecto de las pulsaciones aumenta con la presión y cantidad, que a su vez pueden producir las resonancias destructivas en la instalación. Son estas pulsaciones las que prácticamente delimitan los límites de las medidas superiores del medidor rotatorio.

## PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS DE OPERACIÓN

**Precisión:**

Menor que 1.0 % uncertainty

**Repetibilidad:**

Mas de 0.1 %

**Rangeabilidad:**

Mas de than 1 :100

**Rata a manejar:**

PN 16 - ANSI 150

**Max. Presión de Operación:**

16 bar - 232 psi

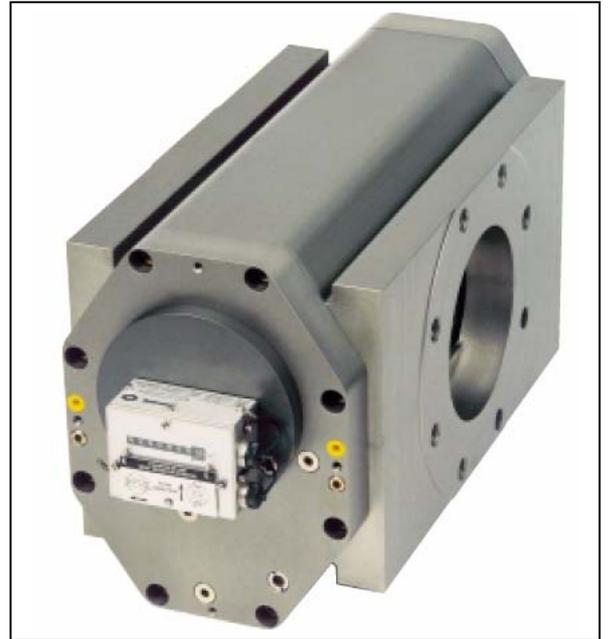
**Rango de Temperatura:**

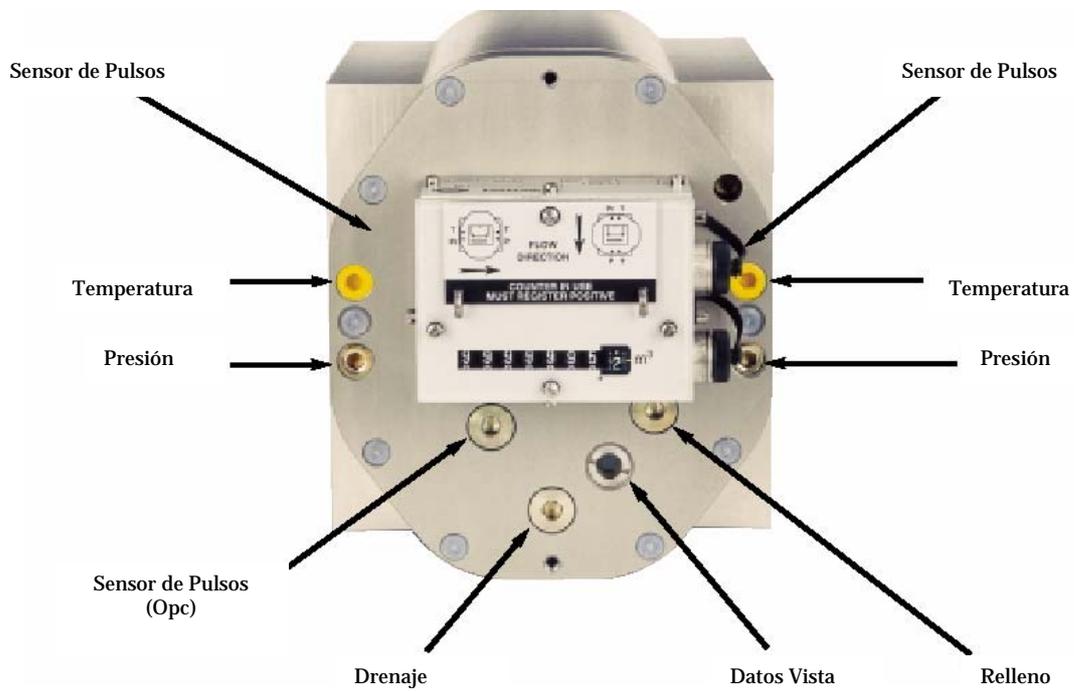
-30° C to +60° C / -22° F to 140° F

**Rango de Flujo:**

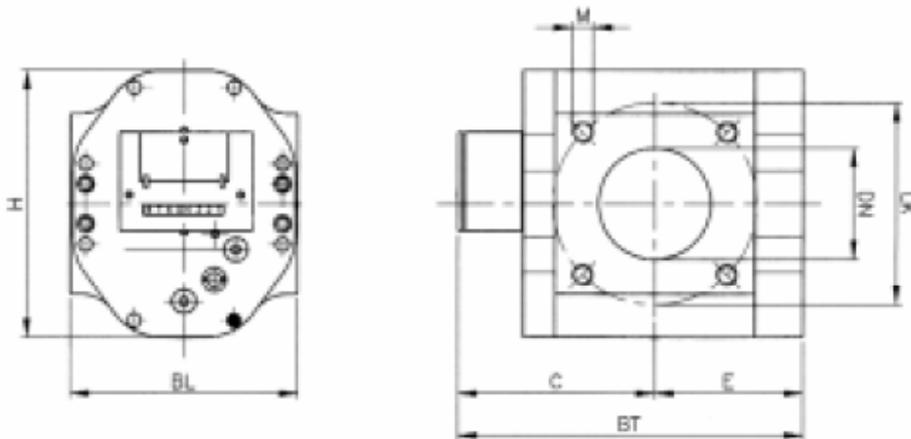
G 25 to G 650 / 1.5 M - 38M

(0.6 m<sup>3</sup>/h - 1,000 m<sup>3</sup>/h) / (20 cfh - 38,000 cfh)





## DIMENSIONES



LK	M	Tornillo	H	BL	BT	C	E	WT (kg)
160	M16	8	202	171	290	168	122	14

*Distancia en mm*

## 6.2. Verificación del Medidor a Instalar en la Estación de GNV

Tipo del medidor	Rotatorio
Marca	Instromet
Tipo	IRM-3
Tamaño	G100
Q max	1500 M3/Hr
Flange Rating	PN 16 – ANSI 150
Precisión:	Menor al 1%
Repetibilidad	Menor al 0.1%
Rangeabilidad	Superior a 1:100
Max.l presión de operación	232 psi
Rango Temperatura del Gas	-22 oF a 140 oF

### ***Verificación de Capacidad de Flujo***

El medidor a instalar G100 tiene un Qmax de 1500 M3/Hr a condiciones actuales.

La verificación a condiciones de operación de la capacidad del medidor se calcula aplicando la Ley General de los Gases a saber:

$$V_a = \frac{(Q_{st} * P_{st}) * (T + 273.15)}{(T_{st} + 273.15) * (P_{min} + P_{atm})}$$

Donde:

Va= Volumen actual, M3/Hr

Qst=	Volumen a condición estándar, 750 M3/Hr
Pst=	Presión a condiciones estándar, 1.013 bar
Tst=	Temperatura a condiciones estándar, 15oC
Pmin=	Presión Mínima de entrada al medidor, 14 barg
Patm=	Presión Atmosférica, 1.03 bar
T=	Temperatura a las condiciones de operación, 40oC

$$Va = 60 \text{ M3/Hr}$$

El medidor ha instalar posee una capacidad de 1500 M3/Hr, por lo tanto cumple las especificaciones de capacidad de flujo. De igual manera el medidor es adapta a un mayor consumo de gas, dado el caso que en el futuro se opte por una segunda unidad de compresión en la estación de GNV.

### **Máxima presión de operación**

La máxima presión de operación disponible (MAOP) definida por el fabricante del medidor es de 232 psi comparada con la máxima presión de operación de 200 psi.

### **Identificación del medidor**

El medidor se debe encontrar completamente identificado de acuerdo a la exigencia de la norma en lo referente a modelo IRM 3 G-100, Fabricante Instromet, serial 601604, MAOP 16 bar, Qmax 1500 M3/Hr. Ver figura 20.

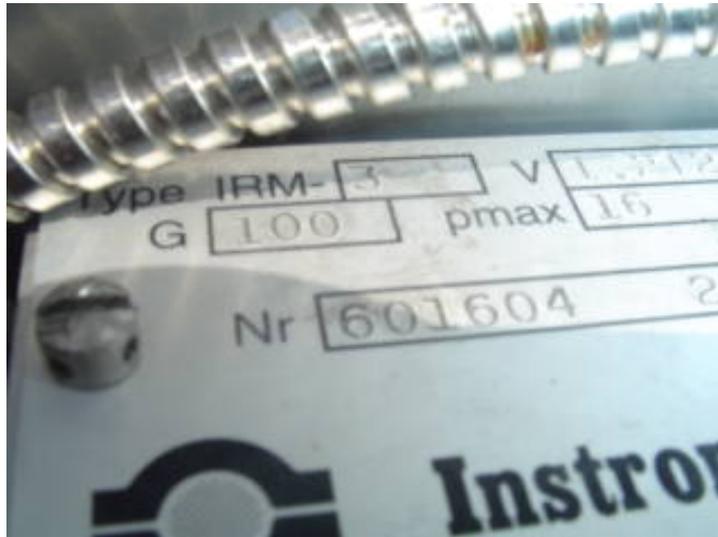


Foto 20. Identificación del medidor

### **Identificación de dirección de flujo y facilidades de lectura**

La dirección de flujo se debe encontrar claramente identificada. De igual manera su instalación debe facilitar la lectura del volumen medido. Ver figura 21.



Foto 21. Identificación de dirección de flujo

### **Precisión del medidor**

La precisión inicial del medidor debe ser del 0.1% según la norma ANSI, el medidor propuesto a instalar tiene una precisión de fábrica de 0.1%, cumpliendo la exigencia normativa.

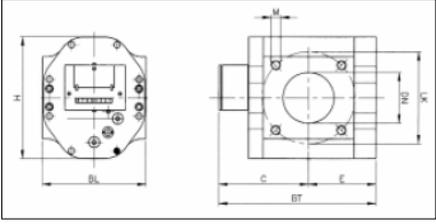
### **Localización del medidor**

El medidor se debe encontrar en un lugar ventilado, de fácil acceso para su mantenimiento y toma de lecturas tal como lo exige el numeral 5.3 de la norma ANSI B109.3. De igual manera se debe encontrar alejado de factores de riesgo tales como pasos peatonales, áreas calientes y corrosivas. Ver figura 22.



Figura 22. Localización del Medidor

### 6.3. Data Sheet del Medidor a Instalar

<b>AGUAZUL CASANARE</b>	<b>HOJA DE ESPECIFICACIONES</b>	Fecha: Hoja 1 de 1																					
	<b>MEDIDORES DE FLUJO</b>	Por:																					
<b>PROYECTO: ESTACION GNV AGUAZUL</b>																							
<b>Item No.:</b> Gas <b>Servicio: Natural</b>		<b>Fabricante: INSTROMET</b>  <b>No. Requeridos: 1</b>																					
<b>Medidor</b>																							
Tipo de medidor		ROTATIVO G100 IRM3																					
Diámetro, pulg.		3																					
Conexiones de entrada, pulg./ANSI		3 x 150#																					
Conexiones de salida, pulg./ANSI		3 x 150#																					
Precisión (%)		1																					
Repetitibilidad (%)		0,1																					
<b>Condiciones de diseño</b>																							
Flujo máximo KPCSD		1627																					
Presión de diseño, psia		232																					
Temperatura Máx., °F		140																					
Temperatura Min., °F		-22																					
<b>Condiciones Operacionales</b>																							
Flujo máximo de operación KPCSD		1270																					
Flujo mínimo de operación KPCSD		8,5																					
Gravedad específica del gas @ 60°F		0,735																					
Temp. Máx. Del Gas, °F		95																					
Temp. Min. Del Gas, °F		70																					
Presión regulada. del gas, psia		200																					
																							
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>Flow Range</th> <th>LK</th> <th>M</th> <th>No.</th> <th>H</th> <th>BL</th> <th>BT</th> <th>C</th> <th>E</th> <th>WT (kg)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>G 100      3"</td> <td>160</td> <td>M16</td> <td>8</td> <td>202</td> <td>171</td> <td>290</td> <td>168</td> <td>122</td> <td>14</td> </tr> </tbody> </table>				Flow Range	LK	M	No.	H	BL	BT	C	E	WT (kg)	G 100      3"	160	M16	8	202	171	290	168	122	14
Flow Range	LK	M	No.	H	BL	BT	C	E	WT (kg)														
G 100      3"	160	M16	8	202	171	290	168	122	14														

## **7. CONCLUSIONES DEL ESTUDIO**

Las conclusiones del estudio están basadas en la interpretación que se da por parte del estudiante a las normas internacionales aplicables a los centros de medición de gas natural; dichas normas son las exigidas bajo requerimientos contractual y lo establecido en el Reglamento Unico de Transporte (RUT).

### *EL RUT Y LA MEDICION.*

El Reglamento Único de Transporte RUT, fija los criterios a seguir en las relaciones entre los agentes que intervienen en el transporte de gas, condiciones que son de cumplimiento obligatorio. A continuación se presentan algunos puntos incluidos en el RUT en lo referente a la medición de gas natural.

Las mediciones volumétricas y la determinación de los mecanismos y procedimientos que permitan establecer la calidad del gas y su contenido energético deberán efectuarse en todos los Puntos de Entrada y Salida del Sistema Nacional de Transporte, como es el caso de la Estación de GNV de AGUAZUL.

### *Medición volumétrica*

El volumen de Gas Natural entregado y tomado del Sistema de Transporte es el calculado por el Transportador a Condiciones Base de 14.65 Psia y 60° F a partir de las variables determinadas por los equipos oficiales de medición, debidamente calibrados, empleando los métodos de cálculo establecidos por el fabricante en los manuales específicos para cada tipo de medidor y las recomendaciones de la Asociación Americana de Gas – AGA ("*American Gas Association*") o ANSI para el caso de los medidores de desplazamiento positivo

### *Sistema de Medición*

Un sistema de medición consistirá de un elemento primario, secundario y otros elementos, para nuestro caso solo haremos referencia al elemento primario, pues el objeto del estudio es seleccionar el medidor que más se acomode a las condiciones operacionales y económicas planteadas en el estación de GNV de Aguazul.

Elemento Primario: Será de carácter obligatorio y empleará los medidores homologados por el Ministerio de Desarrollo Económico - Superintendencia de Industria y Comercio - de conformidad con el Decreto 2269 de 1993 o las normas que lo modifiquen o sustituyan, o en su defecto, se emplearán las recomendaciones de la Asociación Americana de Gas "*American Gas Association*, (AGA), última edición.

### *Instalación, Operación y Mantenimiento de los Sistemas de Medición*

La instalación, Operación y el Mantenimiento de los Sistemas de Medición corresponde al propietario de dichos equipos, a menos que el Remitente y el Transportador acuerden lo contrario. En cualquier caso el Transportador inspeccionará la instalación del equipo de medición para asegurar que cumple con los requisitos técnicos establecidos. Cuando la instalación del Sistema de Medición no cumpla con dichos requisitos, deberá rechazarse por parte del Transportador o del Agente según sea el caso. Cuando el Transportador efectúe la instalación, operación y el mantenimiento del equipo de medición, trasladará dichos costos al Agente, previo acuerdo con éste.

### *Márgenes de Error en la Medición*

Una medición está dentro de los márgenes de error admisibles, cuando al efectuarse la verificación de la calibración del equipo de medición oficial por parte del Remitente, se encuentra dentro de los siguientes límites:

a) El porcentaje de variación de cualquier equipo de medición de las variables del proceso de flujo de gas (presión estática y temperatura, celda diferencial, etc.) está dentro del margen de error de más o menos el uno por ciento (1%).

b) El porcentaje de variación de cualquier equipo de medición para determinar la gravedad específica y el poder calorífico bruto, está dentro del margen de error de más o menos el uno por ciento (1%).

### **DISEÑO DE ESTACIONES DE MEDICIÓN**

El arreglo de equipos en una estación de medición puede variar respecto a la localización de los accesorios, las cuales pueden estar situadas aguas arriba o aguas abajo del elemento primario de medición.

Para el caso de la Estación de GNV de AGUAZUL se recomienda un medidor tipo rotatorio, selección que técnicamente es el mejor arreglo pues dicho equipo se adapta a las condiciones operacionales que el sistema posee.

### **CALIDAD DEL GAS NATURAL**

El esquema operativo de la red de transporte establece que un productor de gas puede acceder al sistema siempre y cuando el gas natural cumpla con una norma de calidad, la cual establece unas especificaciones mínimas que garanticen la

operación rentable, segura y eficiente de los gasoductos y las partes que lo conforman, incluidas las estaciones de entrega.

El Gas Natural entregado al Transportador por el Agente, en el Punto de Entrada del Sistema de Transporte y por el Transportador en el Punto de Salida, deberá cumplir con las siguientes especificaciones de calidad:

**Tabla 7. Especificaciones del Gas Natural**

<b>ESPECIFICACIONES</b>	<b>Sistema Internacional</b>	<b>Sistema Inglés</b>
Máximo poder calorífico bruto (GHV) <sup>(1)</sup>	42.8 MJ/m <sup>3</sup>	1.150 BTU/ft <sup>3</sup>
Mínimo poder calorífico bruto (GHV) <sup>(1)</sup>	35.4 MJ/m <sup>3</sup>	950 BTU/ft <sup>3</sup>
Contenido líquido <sup>(2)</sup>	Libre de líquidos	Libre de líquidos
Contenido total de H <sub>2</sub> S máximo	6 mg/m <sup>3</sup>	0.25 grano/100PCS
Contenido total de azufre máximo	23 mg/m <sup>3</sup>	1.0 grano/100PCS
Contenido CO <sub>2</sub> , máximo en % volumen	2%	2%
Contenido de N <sub>2</sub> , máximo en % volumen	3	3
Contenido de inertes máximo en % volumen <sup>(3)</sup>	5%	5%
Contenido de oxígeno máximo en % volumen	0.1%	0.1%
Contenido de agua máximo	97 mg/m <sup>3</sup>	6.0 Lb/MPCS
Temperatura de entrega máximo	49 °C	120°F
Temperatura de entrega mínimo	4.5 °C	40 °F
Contenido máximo de polvos y material en suspensión <sup>(4)</sup>	1.6 mg/m <sup>3</sup>	0.7 grano/1000 pc

*Nota 1:* Todos los datos referidos a metro cúbico ó pie cúbico de gas se referencian a Condiciones Estándar.

*Nota 2:* El Gas Natural deberá entregarse con una calidad tal que no forme líquido, a las condiciones críticas de operación del Sistema de Transporte. La característica para medir la calidad será el "Cricodentherm" el cual será fijado para cada caso en particular dependiendo del uso y de las zonas donde sea utilizado el gas.

*Nota 3:* Se considera como contenido de inertes la suma de los contenidos de CO<sub>2</sub>, nitrógeno y oxígeno.

*Nota 4:* El máximo tamaño de las partículas debe ser 15 micrones.

Salvo acuerdo entre las partes, el Productor-comercializador y el Remitente están en la obligación de entregar Gas Natural a la presión de operación del gasoducto en el Punto de Entrada hasta las 1200 Psia, de acuerdo con los requerimientos del Transportador. El Agente que entrega el gas no será responsable por una disminución en la presión de entrega debida a un evento atribuible al Transportador o a otro Agente usuario del Sistema de Transporte correspondiente.

Si el Gas Natural entregado por el Agente no se ajusta a alguna de las especificaciones establecidas en el RUT, el Transportador podrá rehusar aceptar el gas en el Punto de Entrada.

### **CONEXIÓN A TIERRA DE LOS EQUIPOS DE UN SISTEMA DE MEDICIÓN.**

Teniendo en cuenta la generación de corriente estática y la localización en zonas de altas descargas eléctricas los equipos de medición se deben proteger buscando aterrizar corrientes parásitas que afecten el comportamiento de los equipos electrónicos respecto a la exactitud de la medición

## CONCLUSIONES TECNICAS DE LA SELECCIÓN DEL MEDIDOR

Todos los medidores de flujo usan los principios de la mecánica de fluidos para obtener el caudal a partir de las propiedades de transporte del fluido. Es así, como un medidor tipo rotatorio su rotación se incrementa con la diferencial de presión, una turbina por la velocidad del gas, rotación que se detecta mediante sensores magnéticos o mecánicos instalados fuera del cuerpo del medidor.

La exactitud de los medidores de flujo están sujetos a la evaluación y análisis de las siguientes variables las cuales fueron analizadas en este estudio y que fueron factor importante en la selección del tipo de medidor, pues el tipo rotatorio es el menor afectado en su exactitud por estas variables:

- *Sensibilidad al Número de Reynolds*

El número de Reynolds relaciona el comportamiento del flujo de un fluido con otros, que tienen el mismo número. Dependiendo de la sensibilidad del medidor al número de Reynolds, así será su efecto sobre el desempeño del medidor.

- *Flujo no Pulsante*

Es el problema de mayor frecuencia para la exactitud de los sistemas de medición por lo que requiere instalar eliminadores de pulsación a la entrada del medidor. La experiencia con la mayoría de los medidores es que ningún medidor es inmune a los efectos de pulsación. De igual manera es de evaluar las pulsaciones en las conexiones donde se sienten las diferentes variables que intervienen en la medición.

- *Fluctuación de Flujo.*

Cambios en las ratas de flujo a una velocidad por debajo de la capacidad de respuesta del sistema de medición. Si el cambio excede la respuesta del sistema, la medición puede mostrarse continua pero la exactitud puede estar comprometida severamente. El método apropiado para corregir una fluctuación del flujo es amortiguando las fluctuaciones en la corriente del fluido en la tubería por debajo de la frecuencia de respuesta del medidor.

- *Instalaciones Adecuadas de los Medidores*

Existe una relación entre la tubería aguas arriba y aguas abajo del medidor con el perfil de flujo, que hace que se pueda crear un perfil totalmente desarrollado o un perfil deformado. Por eso son muy importantes las mínimas longitudes especificadas en las normas y recomendaciones del fabricante para garantizar una correcta medida. Cualquier instalación cuyas longitudes de tubería antes y después del medidor no cumplan con estas normas o con las exigencias del fabricante no tendrá patrón de flujo predecible y los procedimientos de cálculo establecidos en las normas no tendrán ningún sentido en ese medidor.

- *Alineamiento y Centricidad*

Otro factor importante es la forma como el elemento primario se une al tubo de medición y su alineación.

- *Rangeabilidad o Rango de Operación.*

Un medidor tiene un rango definido para la medición exacta y éste no debe acercarse a sus valores máximo y mínimo.

- *Calidad del Gas, Libre de Líquidos y Sólidos.*

Es importante la influencia del contenido de sólidos y líquidos sobre el patrón de flujo el cual es afectado severamente e incide en la exactitud de la medición.

## 8. BIBLIOGRAFIA

- AMERICAN GAS ASSOCIATION. COMPRESIBILITY FACTORS OF NATURAL GAS AND OTHER RELATED HYDROCARBON GASES, NOV 1992
- AMERICAN PETROLEUM INSTITUTE, MANUAL OF PETROLEUM MEASUREMENT STANDARDS, CHAPTER 21 – FLOW MEASUREMENT USING ELECTRONIC METERING SYSTEMS, SEP 1993
- AMERICAN GAS ASSOCIATION REPORT No. 11. MEASUREMENT OF NATURAL GAS BY CORIOLIS METERS (1996)
- ANSI B 109.3 – 1992 ROTARY TYPE GAS DISPLACEMENT METERS
- GALVIS BARRERA, HERNANDO. MEDICION DE GAS NATURAL. TIPOS DE MEDIDORES.
- MILLER R.W. FLOW MEASUREMENT ENGINEERING HANDBOOK
- KAWAWITA, KAZUTO. Jornada Internacional de Medición de Fluidos, Bucaramanga, 2002.
- CATALOGOS DE MEDIDORES MICROMOTION
- CATALOGOS DE MEDIDORES DANIEL
- CATALOGOS DE MEDIDORES INSTROMET
- CATALOGOS DE MEDIDORES AMERICAN METER
- CATALOGOS DE MEDIDORES ELSTER