



3<sup>er</sup> Workshop de Medición en  
Upstream y Downstream  
de Petróleo y Gas 

22-23  
AGO



INSTITUTO ARGENTINO  
DEL PETRÓLEO Y DEL GAS

## Medidores acoplados en serie (Close-Coupled Series) de acuerdo con el AGA 9.

“Caso real donde este arreglo ayudo a identificar error en la medición que de otra forma hubieran pasado desapercibido”

# Temario

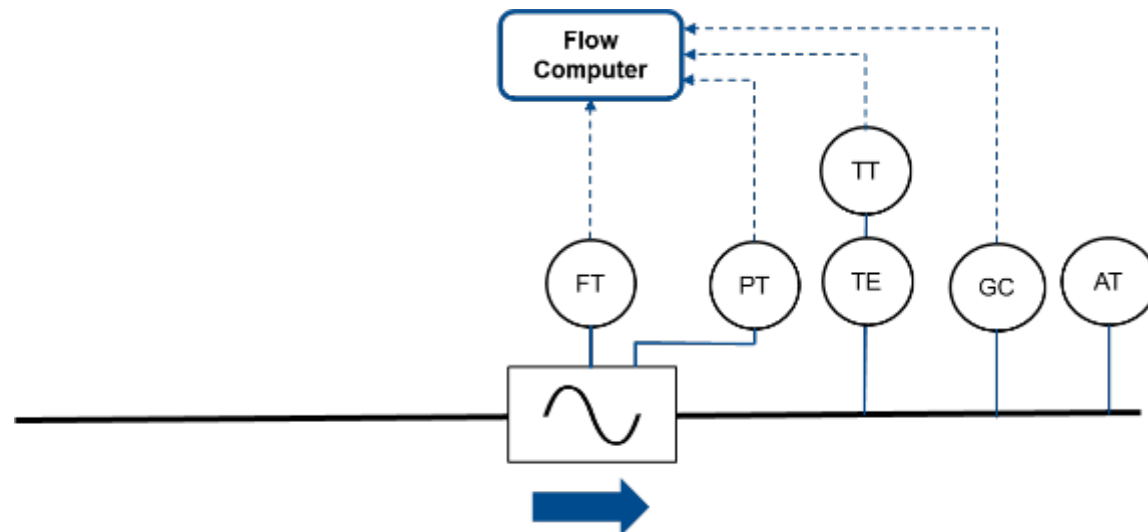
- Sistemas de Medicion Tradicionales
- Medidores acoplados en serie
- Antecedes del Sistema a Analizar
- Diagnósticos Básicos y Proceso
- Problemas detectados por el cliente
- Problemas detectamos vía Diagnósticos
- Conclusiones

# Sistemas de Medicion Tradicionales

Todos los elementos de un tren de medición tienen alguna forma de verificación

- Transmisor de **presión** e indicador de presión (Manómetro)
- Transmisor de **temperatura** e indicador de temperatura (Termómetro)
- **Cálculos** de flujo vía Computador de flujo con dos señales de frecuencia y fuentes de alimentación redundante
- **Cromatógrafo**, siempre se compara contra un gas patrón

Excepto el elemento primario de medición: El Medidor Ultrasónico



# Medidores Acoplados en Serie

Los avances en el diseño de los medidores ultrasónicos y la reducción del costo han hecho posible la implementación de una medición redundante o de verificación; y el AGA 9 lo incorporó en su reporte del 2022.

## 5.3 Close-Coupled Series Metering

Meters may be installed in series and close-coupled to provide check or redundant measurement. Meters used can be from different manufacturers or can be of different path configurations to reduce common mode errors. Care should be taken to ensure that the transducer ports and/or transducer excitation of each meter does not interfere with flow stability and/or signal detection of an adjacent meter(s) and independent outputs shall be provided for each meter. The complete custody transfer metering assemblies, including both meters, shall be calibrated together.

### *Traducción simple del AGA 9*

#### **5.3 Medidores acoplados en serie**

*Pueden instalarse medidores en serie y acoplados uno al lado del otro para **proporcionar una verificación o redundancia de la Medición.***

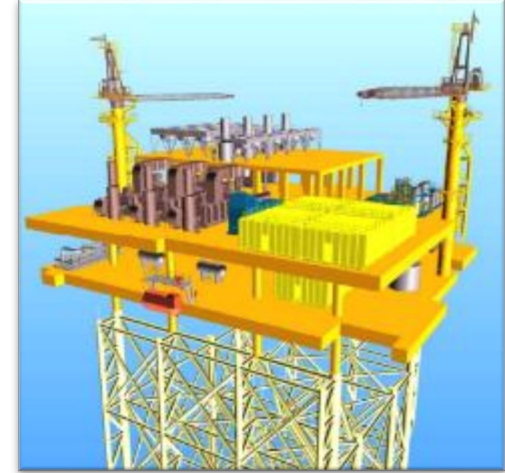
*Los medidores pueden ser de diferentes fabricantes o diferente configuración de trayectorias con distinto modo de falla.*

*Se debe tener cuidado de que la operación de los transductores no afecte la operación entre medidores y que cada uno tenga salidas independientes.*

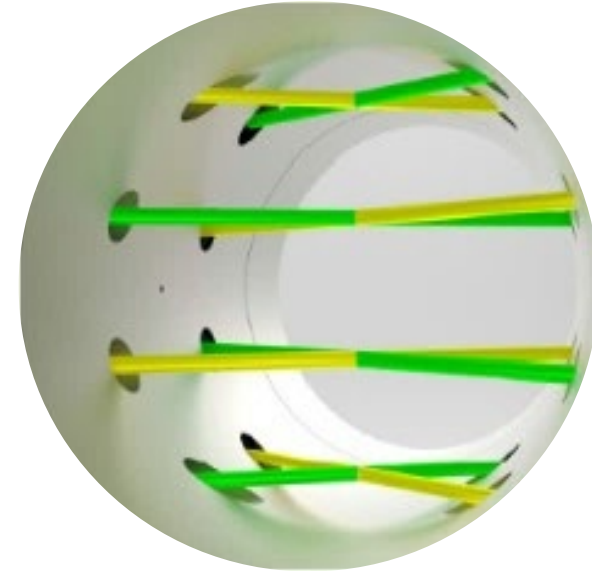
*Y que todo el tramo de medición, incluyendo ambos medidores se calibren juntos.*

# Antecedentes de la estación de Medicion

- Plataforma de compresión (offshore) con capacidad de 450 MMSCFD
- Gas Natural Húmedo Amargo, se comprime y envía a tierra para ser tratado
- El servicio del operador es transportar el gas (evaluado y compensado en base al flujo enviado/medido)
- Se requiere la máxima disponibilidad y redundancia, existen penalidades por dejar de medir
- 4 x Medidores de 16" ANSI 600# RF (Duales)



# Operación de los Medidores



- Dos tramos tienen la capacidad de medir el flujo total 450 MMSCFD
- Cada tramo tiene dos medidores en un mismo cuerpo (operación y verificación) por eso hay dos electrónicas por tramo
- Los medidores son espejo uno del otro (**verde** operación, **amarillo** verificación)
- Los dos medidores se comparan (Caudal y **Diagnóstico**) en línea

# Tipos de Diagnósticos

## **Diagnostico Básico (Medidor).**

¿Funciona bien o hay muestras de deterioro?

## **Diagnostico Avanzado (Proceso):**

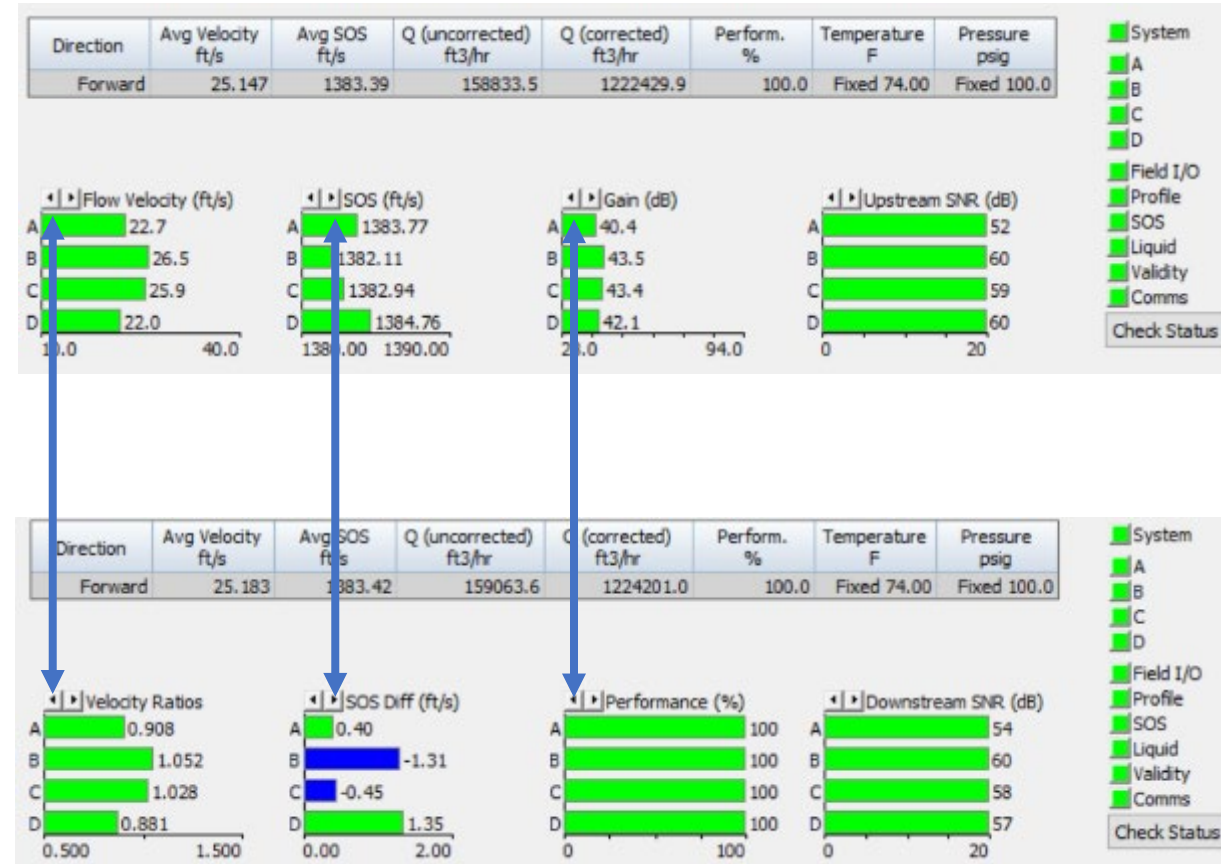
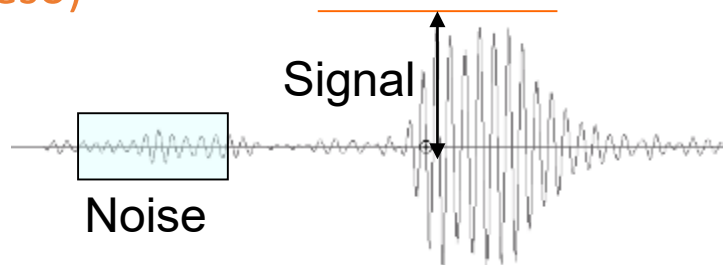
¿Las condiciones del proceso son estables o podrían causar errores en la medición?

## **Diagnóstico del Sistema de Medicion:**

¿Es la operación del medidor, así como la Presión, Temperatura y Cromatografía de proceso (Comparación de la SOS)?

# Diagnostico Básico (Funcional)

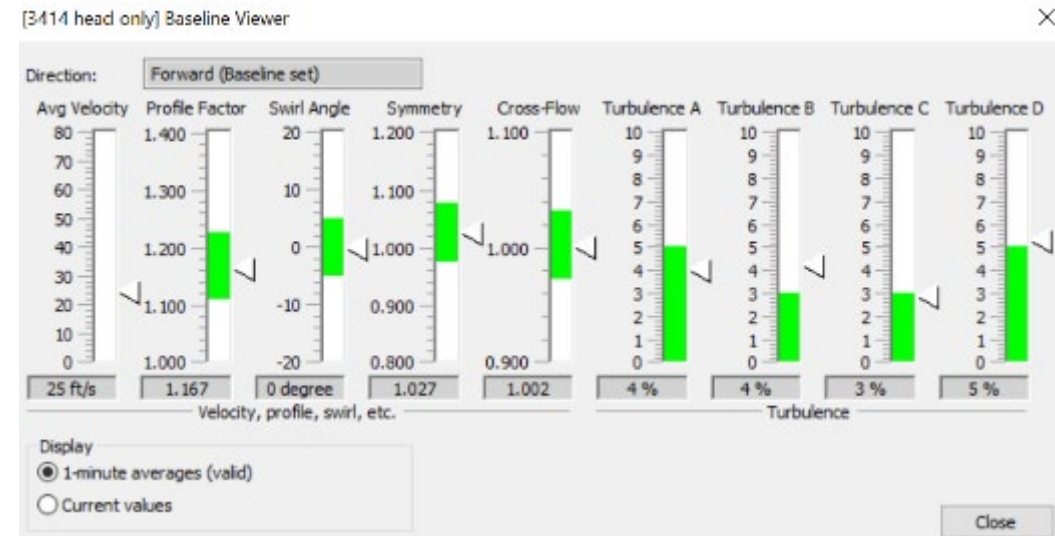
- 1. Velocidad del Flujo:** Que este dentro del rango del medidor y que exista buen mezclado del gas y condiciones uniformes (5-80 pies/seg)
- 2. Velocidad del Sonido (SOS) –** Comparacion entre cuerdas (+/- 0.15 a 0.3%)
- 3. Ganancia –** Amplificacion de la señal. Comparación entre cuerdas (Depende de las cond del proceso)
- 4. Desempeño:** Señales enviadas vs recibidas (100%)
- 5. Relacion de la senal contra el ruido (SNR):** Comparacion entre cuerdas (depende del proceso)





# Diagnóstico de Proceso (Avanzado)

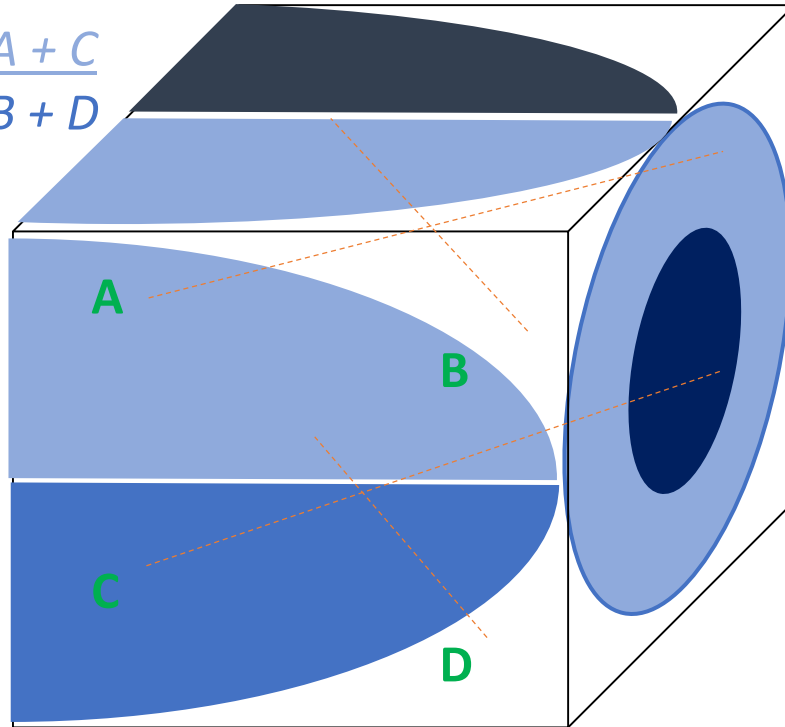
1. Mide el
  - a) Perfil de flujo
  - b) Simetría
  - c) Flujo cruzado
  - d) Turbulencia
2. Determina si las condiciones de proceso son estables y permiten una Medición confiable
3. Identifica si existe contaminación, líquidos o bloqueos del acondicionador.



# Diagnostico Avanzado (Relación de Velocidades)

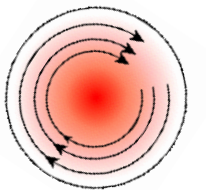
$$\text{Flujo Cruzado} = \frac{A + C}{B + D}$$

$$\text{Simetria} = \frac{A + B}{C + D}$$



$$\text{Perfil de Flujo} = \frac{B + C}{A + D}$$

**Remolino (Swirl)** = Valor calculado para expresar la severidad del remolino



**Turbulencia:** Desviación estándar del delta time en %



# Caso Real

Todos los diagnósticos OK, pero existe una diferencia anormal entre los medidores

Station Name Descarga Bajo N2	Company Microsoft	Test Date 5/31/2022
Meter Name FIT-5007A	Date last tested	Test Time 12:15:26 PM
Technician 1 Solar Turbines User	Technician 2	Test duration 82 samples
Address Ca-Ku-A1	City Ciudad del Carmen	State/Country Campeche, México

Device 3414 BG	Frequency 1	Frequency 2	Average Performance 100 %
Serial Number 160050940 H1	Full Scale 450000 ft3/hr	450000 ft3/hr	Meter Average SOS 1192.02 ft/s
Internal Diam. 14.311 in	Freq Full Scale 5000 Hz	5000 Hz	
Pressure 1137.4 psig	K-factor 40 pulses/ft3	40 pulses/ft3	
Temperature 147.8 F	Inverse K 0.025 ft3/pulse	0.025 ft3/pulse	Specific Gravity 0.581078
Samples/Updt 62/103 New/Total	Current 1 Full Scale 7062930 ft3/hr		Heating Value 1036.05 btu/ft3
Stack Size None			Flow Direction Forward
Update Period 1 s	Low Flow Cutoff 3 ft/s		Profile Factor 1.142
Contract Hour 5	Meter CRC 0xCE37 @24/05/2022 07:45:48 p.m.		Swirl -1 degree
			Symmetry 1.017
			Cross-Flow 1.019

Chord	Velocity and Turbulence			
	Avg (ft/s)	Max (ft/s)	Min (ft/s)	Turb (%)
A	20.083	20.675	19.542	6.27
B	22.476	22.747	22.172	3.27
C	22.522	22.793	22.218	3.66
D	19.34	19.919	18.906	6.89
Average	21.686	21.85	21.532	

Path	Other Diagnostic Averages		
	Perf (%)	Gain (dB)	SNR (dB)
A Up	100	31	53
A Down	100	31	53
B Up	100	38	47
B Down	100	38	49
C Up	100	30	55
C Down	100	30	54
D Up	100	31	55
D Down	100	31	51
Avg Up	100	33	53
Avg Down	100	33	52

Chord	Speed of Sound		
	Avg (ft/s)	Max (ft/s)	Min (ft/s)
A	1192.75	1193.29	1192.39
B	1192	1192.54	1191.58
C	1191.53	1192.07	1191.16
D	1191.82	1192.34	1191.42
Average	1192.02	1192.56	1191.64


### Status Groups

System	00000000
Chord A	00000000
Chord B	00000000
Chord C	00000000
Chord D	00000000
Field I/O	00000000
Validity	Valid
Profile	00000000
SOS Comp	
Liq Detect	

Average Flow Velocity	21.686	ft/s
Avg. Uncorrected Rate	87441.7	ft3/hr
Avg. Corrected Rate	0	ft3/hr
Avg. Energy Rate	0	MMBtu/hr
Avg. Chord SOS Diff.	0.4	ft/s
Max. Chord SOS Diff.	0.76	ft/s
Avg. Mass Rate	0	lbm/hr
Avg. Flow Mass Density	0	lbm/ft3

### Meter Calibration Factors

Data Point	Multi-point Linearization Coefficients			
	Forward Flow Rate	Factor	Reverse Flow Rate	Factor
1	934896.1000	1.0008	0.0000	1.0000
2	283248.3000	1.0009	0.0000	1.0000
3	221613.7000	1.0013	0.0000	1.0000
4	180567.4000	1.0016	0.0000	1.0000
5	120479.5000	1.0018	0.0000	1.0000
6	60557.6000	1.0028	0.0000	1.0000
7	20083.5000	1.0032	0.0000	1.0000
8	0.0000	1.0000	0.0000	1.0000
9	0.0000	1.0000	0.0000	1.0000
10	0.0000	1.0000	0.0000	1.0000
11	0.0000	1.0000	0.0000	1.0000
12	0.0000	1.0000	0.0000	1.0000
Sums=	1221446.1	12.0124	0	12

Configuration Verified? (Y/N)	Meter Contract Hour Verified? (Y/N)	Events/Alarms Collected (Y/N)/Reviewed (Y/N)?
Remarks	 <b>FLOW MEASUREMENT VALID</b>	
Signatures	Tester: _____ Date: _____ Witness: _____ Date: _____	
Station Name Descarga Bajo N2	Company Microsoft	Test Date 5/31/2022
Meter Name FIT-5007A	Date last tested	Test Time 12:15:26 PM
Technician 1 Solar Turbines User	Technician 2	Test duration 82 samples
Address Ca-Ku-A1	City Ciudad del Carmen	State/Country Campeche, México

## Status Summary

**Current alarms (primary causes listed first)**  
None active during the maintenance log.

**Alarms requiring acknowledgement (primary causes listed first)**  
None active during the maintenance log.

### Velocity and Turbulence

Chord	Avg (ft/s)	Max (ft/s)	Min (ft/s)	Turb (%)
A	20.083	20.675	19.542	6.27
B	22.476	22.747	22.172	3.27
C	22.522	22.793	22.218	3.66
D	19.34	19.919	18.906	6.89
Average	21.686	21.85	21.532	

La Vel del Sonido coincide bien dentro del 0.5% del promedio

Turbulencia OK

### Speed of Sound

Chord	Avg (ft/s)	Max (ft/s)	Min (ft/s)
A	1192.75	1193.29	1192.39
B	1192	1192.54	1191.58
C	1191.53	1192.07	1191.16
D	1191.82	1192.34	1191.42
Average	1192.02	1192.56	1191.64

Ninguna Alarma Activa  
El Profile OK

### Status Groups

System	00000000
Chord A	00000000
Chord B	00000000
Chord C	00000000
Chord D	00000000
Field I/O	00000000
Validity	Valid
Profile	00000000
SOS Comp	
Liq Detect	

Average Flow Velocity	21.686	ft/s
Avg. Uncorrected Rate	87441.7	ft3/hr
Avg. Corrected Rate	0	ft3/hr
Avg. Energy Rate	0	MMBtu/hr
Avg. Chord SOS Diff.	0.4	ft/s
Max. Chord SOS Diff.	0.76	ft/s
Avg. Mass Rate	0	lbm/hr
Avg. Flow Mass Density	0	lbm/ft3

### Other Diagnostic Averages

Path	Perf (%)	Gain (dB)	SNR (dB)
A Up	100	31	53
A Down	100	31	53
B Up	100	38	47
B Down	100	38	49
C Up	100	30	55
C Down	100	30	54
D Up	100	31	55
D Down	100	31	51
Avg Up	100	33	53
Avg Down	100	33	52

Performance OK

Ganancia de A y D iguales, B y C también

Valores OK

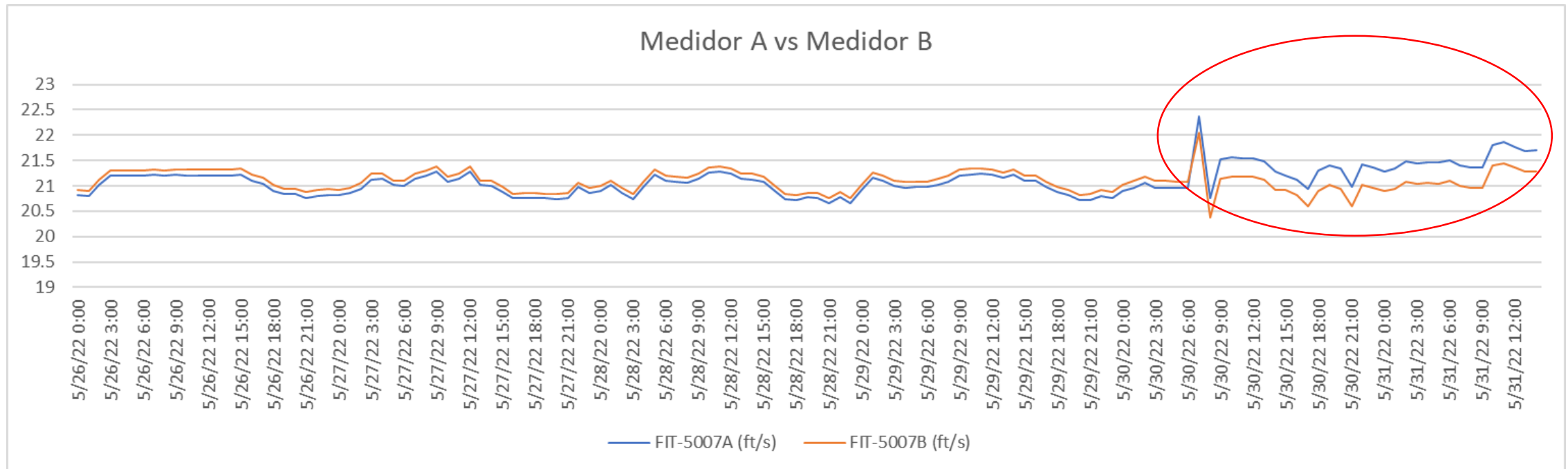
### Meter Calibration Factors

Cal Method	Multi-point			
Data Point	Multi-point Linearization Coefficients			
	Forward Flow Rate		Reverse Flow Rate	
	Flow Rate	Factor	Flow Rate	Factor
1	334896.1000	1.0008	0.0000	
2	283248.3000	1.0009	0.0000	
3	221613.7000	1.0013	0.0000	
4	180567.4000	1.0016	0.0000	
5	120479.5000	1.0018	0.0000	
6	60557.6000	1.0028	0.0000	
7	20083.5000	1.0032	0.0000	

# ¿Como se detecta el problema si no hay alarmas activas?

Comparando el caudal reportado de los dos medidores.

- Hasta antes de May-30 el medidor FIT-5007A media menos que el FIT-5007B y la diferencia era mínima  $<0.5\%$
- ¿Qué provoco el cambio y porque no existieron alarmas?
- A pesar del incremento en la diferencia de los medidores, estos se mantienen  $<1\%$  que es el límite determinado por el cliente antes de cambiar al otro tren de medición, pero requiere determinar el porqué del incremento.



# No se presentaron alarmas de diagnóstico Básico porque el medidor estaba OK

**Velocity and Turbulence**

Chord	Avg (ft/s)	Max (ft/s)	Min (ft/s)	Turb (%)
A	20.083	20.675	19.542	6.27
B	22.476	22.747	22.172	3.27
C	22.522	22.793	22.218	3.66
D	19.34	19.919	18.906	6.89
Average	21.686	21.85	21.532	

**Other Diagnostic Averages**

Path	Perf (%)	Gain (dB)	SNR (dB)
A Up	100	31	53
A Down	100	31	53
B Up	100	38	47
B Down	100	38	49
C Up	100	30	55
C Down	100	30	54
D Up	100	31	55
D Down	100	31	51
Avg Up	100	33	53
Avg Down	100	33	52

La Vel del Sonido coincide bien dentro del 0.5% del promedio

Turbulencia OK

**Speed of Sound**

Chord	Avg (ft/s)	Max (ft/s)	Min (ft/s)
A	1192.75	1193.29	1192.39
B	1192	1192.54	1191.58
C	1191.53	1192.07	1191.16
D	1191.82	1192.34	1191.42
Average	1192.02	1192.56	1191.64

Performance OK

Ganancia de A y D iguales, B y C también

Valores OK

Ninguna Alarma Activa  
El Profile OK

**Status Groups**

System	00000000
Chord A	00000000
Chord B	00000000
Chord C	00000000
Chord D	00000000
Field I/O	00000000
Validity	Valid
Profile	00000000
SOS Comp	
Liq Detect	

Average Flow Velocity	21.686	ft/s
Avg. Uncorrected Rate	87441.7	ft3/hr
Avg. Corrected Rate	0	ft3/hr
Avg. Energy Rate	0	MMBtu/hr
Avg. Chord SOS Diff.	0.4	ft/s
Max. Chord SOS Diff.	0.76	ft/s
Avg. Mass Rate	0	lbm/hr
Avg. Flow Mass Density	0	lbm/ft3

**Meter Calibration Factors**

Data Point	Multi-point Linearization Coefficients			
	Forward Flow Rate		Reverse Flow Rate	
	Flow Rate	Factor	Flow Rate	Factor
1	334896.1000	1.0008	0.0000	
2	283248.3000	1.0009	0.0000	
3	221613.7000	1.0013	0.0000	
4	180567.4000	1.0016	0.0000	
5	120479.5000	1.0018	0.0000	
6	60557.6000	1.0028	0.0000	
7	20083.5000	1.0032	0.0000	

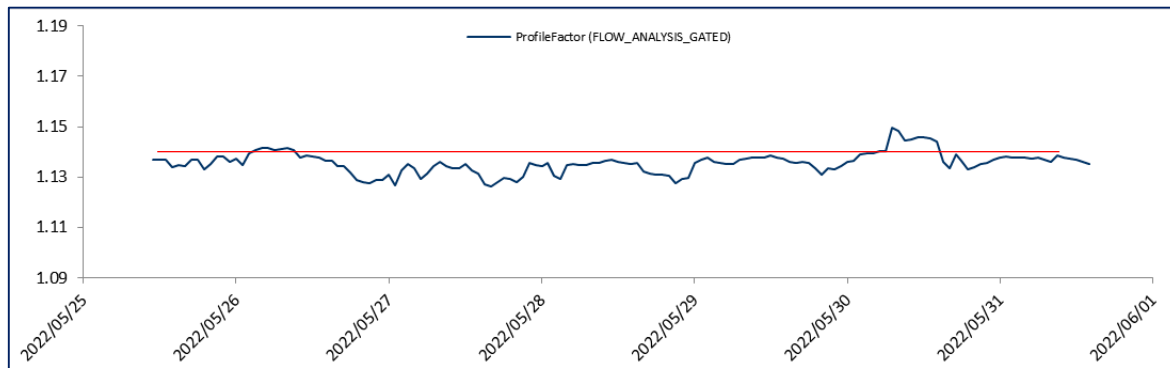
## ¿Y el Diagnostico Avanzado (Proceso) porque tampoco genero alarmas?

Porque los cambios en fueron por debajo del % permitido como standard

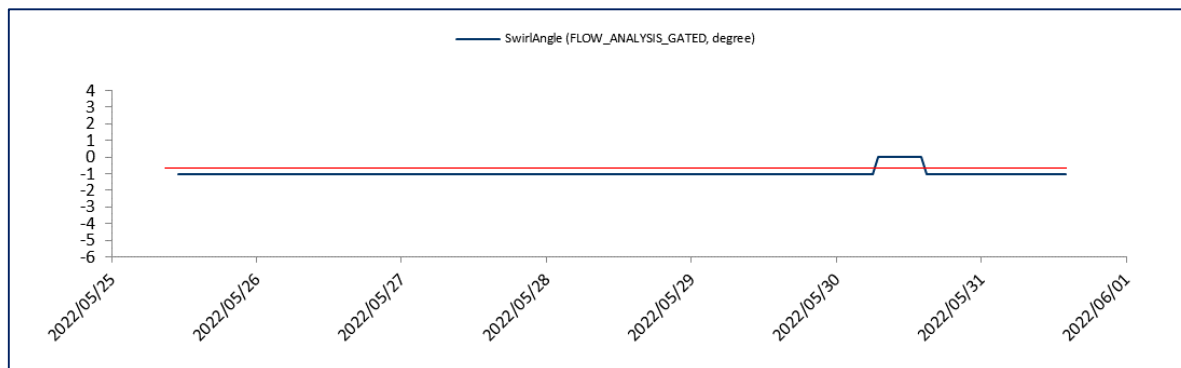
<b>Profile Factor</b>	Baseline Value $\pm$ 5%	ie 1.17 $\pm$ 0.05
<b>Swirl Angle</b>	Baseline Value $\pm$ 5°	ie 0° $\pm$ 5°
<b>Symmetry</b>	Baseline Value $\pm$ 3%	ie 1.00 $\pm$ 0.03
<b>Cross Flow</b>	Baseline Value $\pm$ 3%	ie 1.00 $\pm$ 0.03
<b>Turbulence</b>	Baseline Value + 4%	ie 5% + 4% or 9% max

# Diagnostico Avanzado (Proceso) todo dentro de Rango

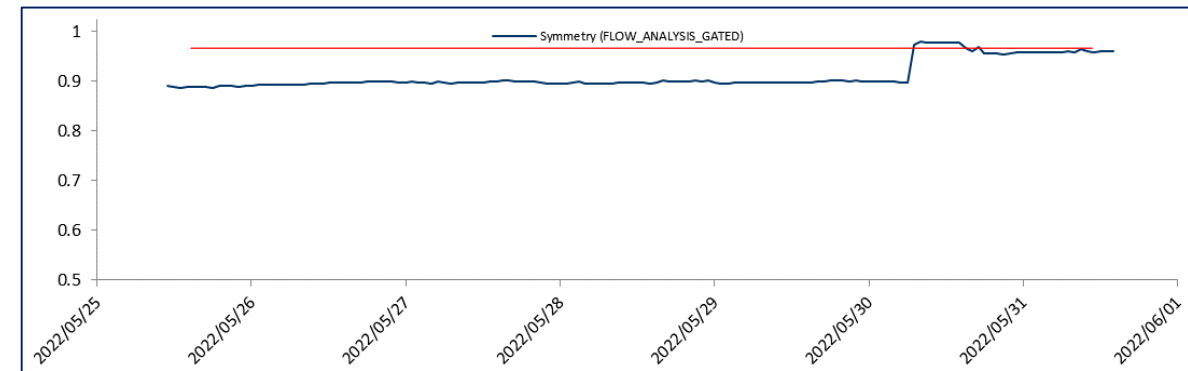
Perfil del flujo **1.138**, Línea Base **1.14 +/-0.05 (1.09 - 1.19)**



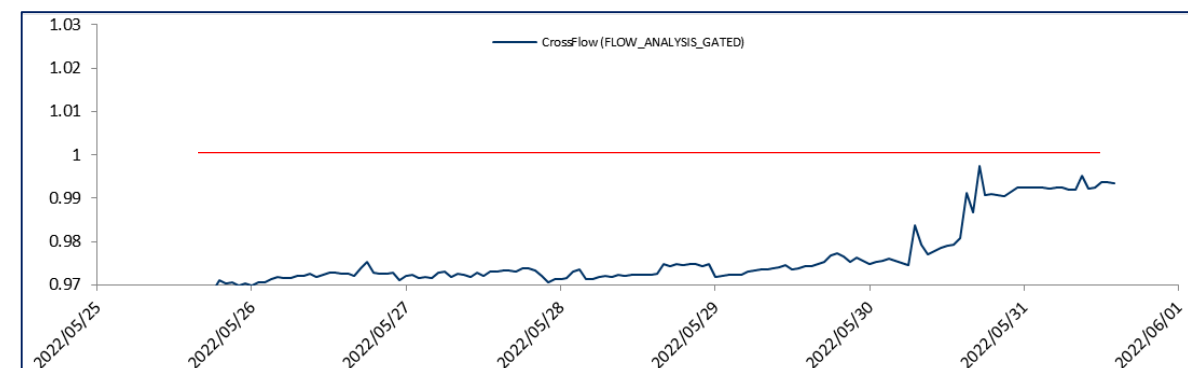
Swirl **0°**, Línea Base **-1° +/- 5 grados (-6° a 4°)**



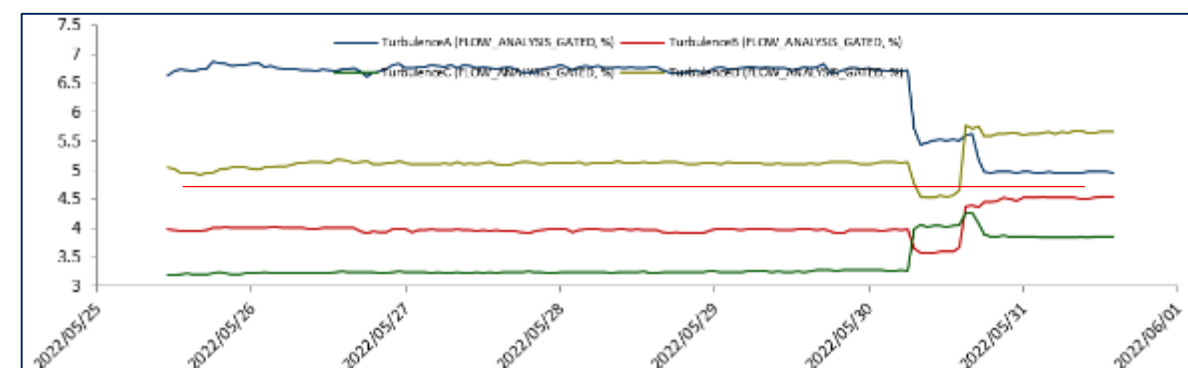
Simetría **1.004**, Línea Base de **0.995 +/- 0.03 (0.965 - 1.025)**



Flujo Cruzado **1.004**, Línea Base **1.002 +/-0.03 (0.972 - 1.032)**

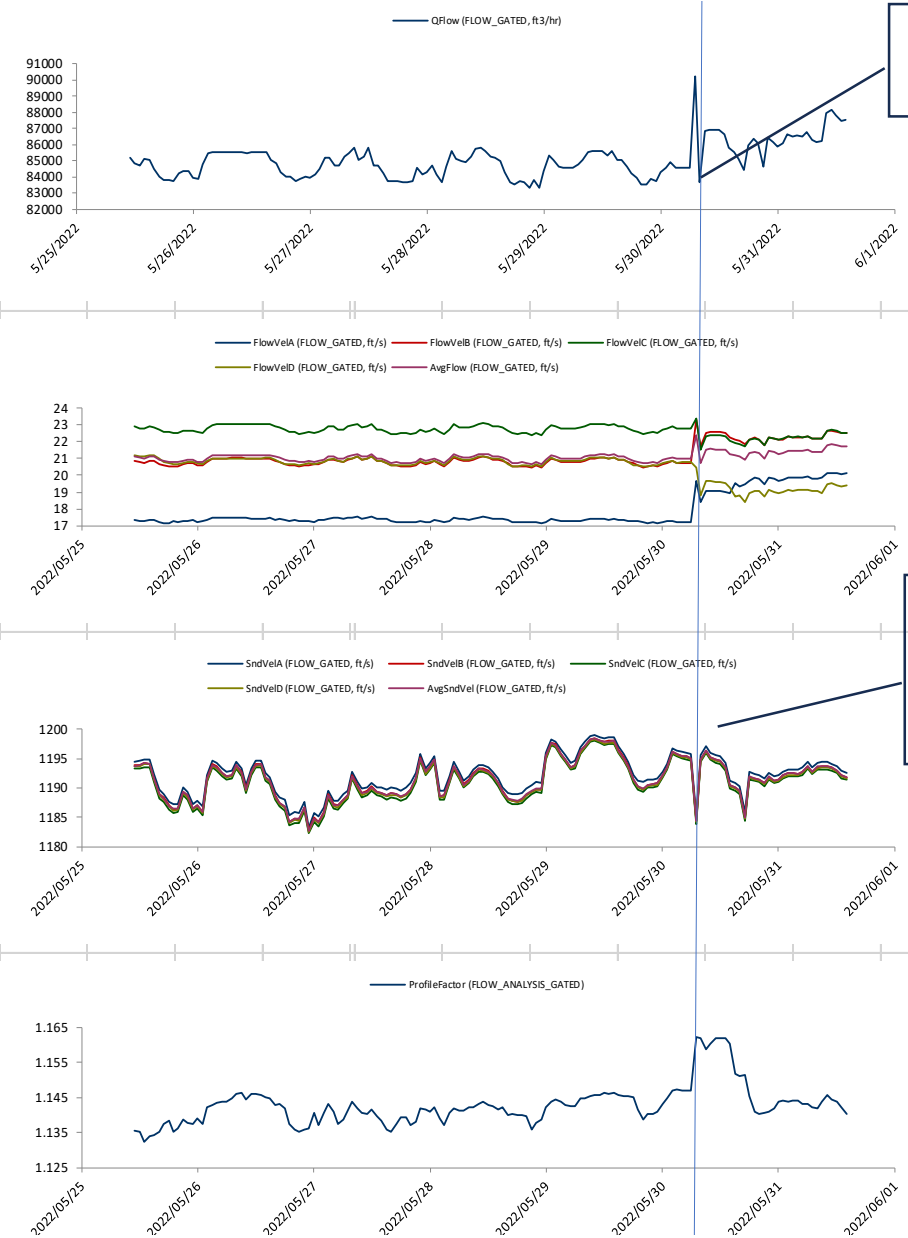


Turbulencia (promedio) **4.83%**, Línea Base **2.5% +4% (2.5% a 6.5%)**





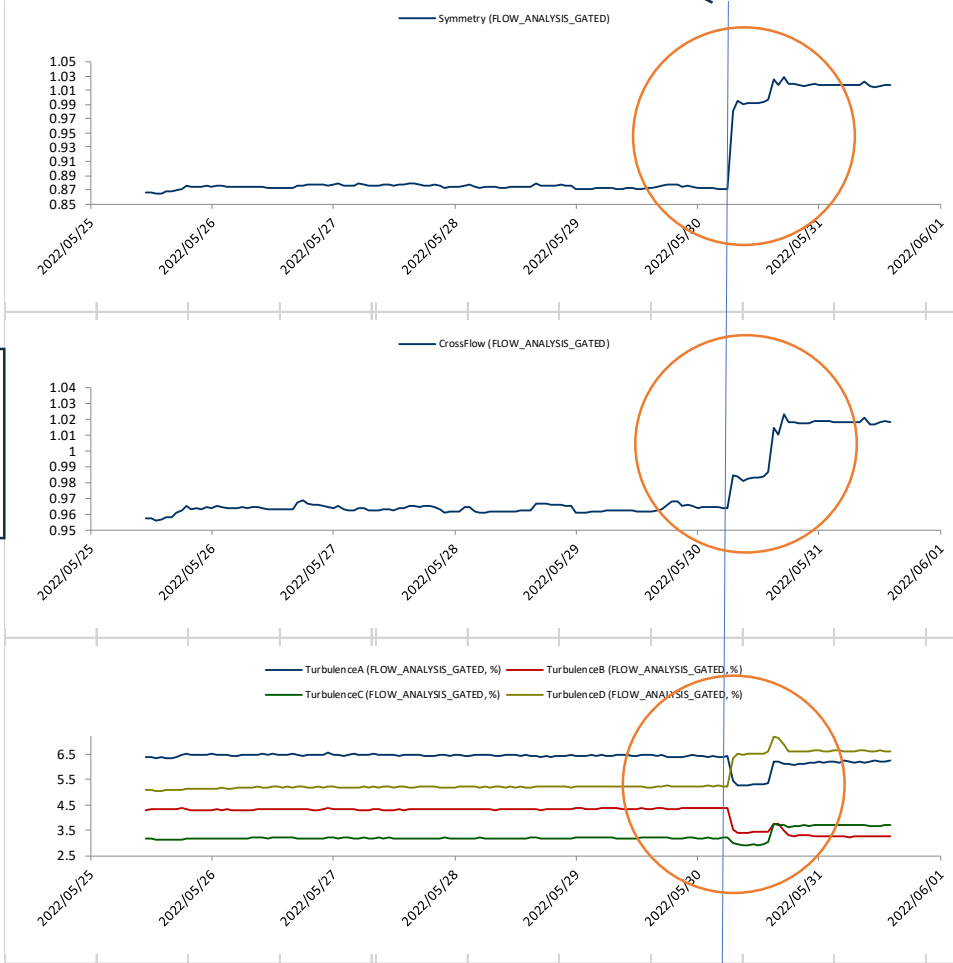
# Un acercamiento (zoom) revela un evento en el proceso y a partir de ese momento un cambio en Simetría, Flujo Cruzado y Aumento de Turbulencia en cuerda D



El cliente confirma que un compresor salió de operación brevemente, pero todo vuela a la normalidad "aparentemente"

Todos estos cambios se presentan cuando existe un bloqueo en el acondicionador de flujo

La SOS es el diagnostico más básico del medidor, a pesar del disturbio en el proceso las SOS siempre coincide bien, lo que confirma que el medidor esta OK



# Análisis y Conclusiones

- El medidor está operando OK (Diagnostico Básico) sin alarmas
- El Diagnostico de proceso (Avanzado) no presenta alarmas porque los cambios en la relación de las velocidades son muy pequeños y dentro de los rangos “estándar” permitidos
- Solo pudo identificarse un problema por medio de la medición de verificación (Medidor acoplado en serie)
- El error es tan pequeño en la medición que sin un medidor de verificación el error podría pasar desapercibido.
- En base a los cambios de Simetría, Flujo Cruzado y Aumento de la Turbulencia en la cuerda D se puede concluir que existe un bloqueo en el acondicionador de flujo.
- El cliente argumenta que lleva operando más de un año sin problemas y que no es posible que exista un bloque porque antes de los compresores existen filtros.
- La evidencia muestra que algo cambio en las velocidades, y que el medidor esta midiendo bien.
- La única forma de confirmarlo es una inspección del tramo.
- Se opta por introducir una cámara de inspección (boroscope)

# Fotografias de la inspeccion del Acondicionador

