

CONTROL DE INTENSIDADES DE PRESIÓN SONORA EN PLANTAS COMPRESORAS, PLANTAS DE MEDICIÓN Y PLANTAS DE REGULACIÓN DE PRESIÓN DE ACUERDO A LAS NUEVAS REGLAMENTACIONES DEL ENARGAS

Autores: **Ing. José Cerar**
 Ing. Adrián Perez
 Ing. Eduardo Marcantoni
Empresa: **Arcan Ingeniería & Construcciones S.A.**

RESUMEN

El Ente Regulador de la Industria del Gas de la República Argentina ha reglamentado los niveles máximos de emisión de presión sonora en las instalaciones de la industria del gas y en las áreas que rodean las instalaciones. Las nuevas reglamentaciones han vuelto más estrictas las condiciones de emisión de ruido. En la periferia de planta no se permite un nivel superior a 45 dBA, independiente de la calificación de Sensibilidad de Ruido del Area donde se ubica la instalación.

Por tal motivo, la Empresa Transportadora de Gas del Norte **TGN S.A.** y **ARCAN S.A.** iniciaron un plan de adecuación integral de todas las instalaciones a las nuevas condiciones.

En este artículo se describen los generadores de presión de intensidad sonora y los parámetros de las estaciones que influyen en la misma, los distintos métodos para controlar la intensidad sonora en las instalaciones, y las diferentes maneras de efectuar la medición para evaluar la eficiencia de las modificaciones.

Se concluye que la adopción del concepto de rediseño de las válvulas de control, aislación acústica de las tuberías y equipos, y de las barreras o casetas insonoras, resultan la combinación ideal para cumplimentar con los niveles de presión sonora requeridos.

INTRODUCCION

TGN S.A. opera aproximadamente 7.270 kilómetros de gasoductos y una cantidad apreciable de Estaciones de Medición y Control de Presión (EMR). Debido al crecimiento de la demanda, muchas de estas estaciones de medición y control están trabajando a su máxima capacidad en forma continua. Además, muchas de estas EMR han quedado insertadas en los cascos urbanos con el devenir de los años y debido a mediciones realizadas en el campo, son generadoras de altos niveles de presión sonora.

El control de ruido de estas EMR es necesario por una serie de razones que se detallarán a continuación.

En primer término, existen los marcos reguladores y las leyes de protección ambiental.

En la República Argentina existen dos reglamentos referenciales de cumplimiento obligatorio;

1. Resolución 159/96 de la Secretaría de Política Ambiental sobre Ruidos Molestos al Vecindario.
2. Resolución 1142 Indicadores de Protección Ambiental emitido por el ENARGAS Ente que regula la industria del Gas en la Argentina.
3. Leyes de Seguridad Industrial.

Estos reglamentos establecen los límites máximos de ruido ambiental en la residencia más cercana a las EMR o dentro de las áreas sensibles a los ruidos ambientales y las condiciones en que han de trabajar los operadores y personal de mantenimiento dentro de la instalación, y en lo referente a equipos de protección y tiempos máximos de exposición a la fuente de presión sonora.

En segundo término, pero también de vital importancia, el control de ruido es necesario para preservar la integridad de las instalaciones evitando de esta manera posibles roturas y accidentes. De suma importancia es considerar en este caso, la relación entre las ondas de presión sonora y las vibraciones de las tuberías y estructuras metálicas.

TGN S.A. ha encargado a **ARCAN S.A.** realizar la Ingeniería de Control de Ruido para las estaciones de regulación y medición existentes y las que se están por construir, siendo una de las primeras encargadas la EMR EPEC PILAR con un gran salto de presión y un caudal apreciable, ubicada en un área calificada como de gran sensibilidad al ruido.

Este Informe describe los trabajos a realizar para disminuir en forma efectiva los niveles de presión sonora en una EMR, teniendo en cuenta las siguientes premisas;

En la residencia más cercana, ó en el Area Sensible al Ruido Ambiente, el nivel de presión sonora no debe superar los 45 dBA, dentro de la instalación y para la operación no más de 65 dBA, y finalmente durante el mantenimiento no más de 86 dBA, en estos dos últimos casos se deben respetar el uso de protectores auditivos y los tiempos de exposición máximos.

DESARROLLO

El sonido es un fenómeno de onda, que depende de las variaciones de presión en el medio en que las ondas se propagan.

Con el fin de que un medio sea capaz de transmitir las ondas de presión, el mismo debe poseer tanto Inercia como Elasticidad.

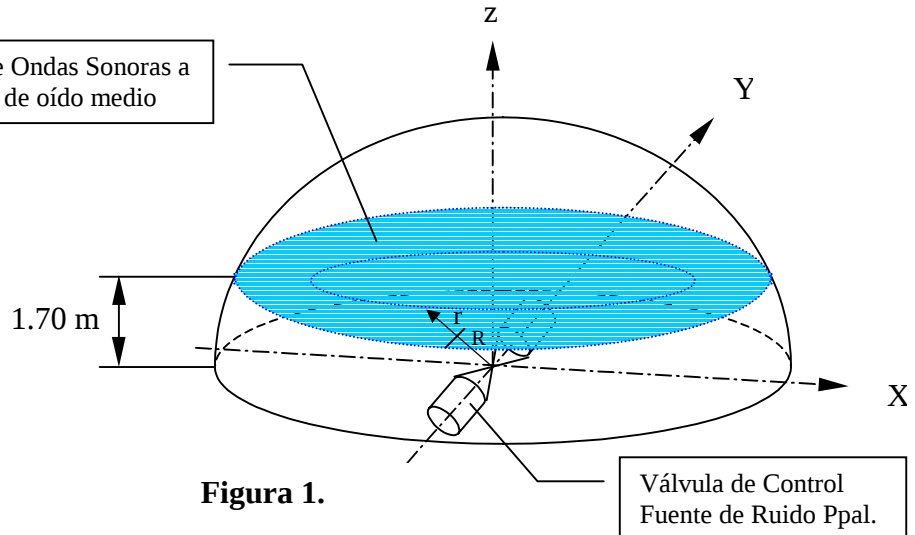
La característica de una fuente de presión sonora, es la irradiación de potencia en forma de ondas.

La unidad de medida de la potencia irradiada es el Watt (W) y la de presión instantánea en el medio se mide en μBar o miliBar.

Considerando un área cerrada de forma esférica y que contiene la fuente sonora puntual de potencia **W**, ubicada en el centro de la esfera (**Figura 1**), y teniendo en cuenta que el medio de propagación es homogéneo, la intensidad sonora a una distancia “**r**” de la fuente esta dada por la **Formula 1**.

$$I = \frac{W}{4 \times \pi \times r^2}$$

(Formula 1)



Dado que la distancia radial “**r**” se hace nula cuando se acerca a la fuente la intensidad sonora se hace inmensamente grande y por lo tanto debe establecerse una distancia “**R**” para la definición de la Intensidad Sonora base.

En general la base es 0.3 metros, 1 metro, 3 metros o 15 metros desde la fuente, según especificación de los distintos equipamientos.

Dado que la intensidad sonora es prácticamente imposible de medir, se hace necesario relacionar **I** con la presión sonora, parámetro físico de fácil medición. Se demuestra que existe una relación directa entre **I** y el valor de la presión acústica en el punto de evaluación:

$$I = \frac{p^2}{\rho \times c}$$

(Formula 2)

Donde:

p = presión acústica en el punto de evaluación	(milibar)
ρ = densidad del medio	(kg/m^3)
c = velocidad del sonido en el medio	(m/seg)
I = Intensidad sonora	(watt/m^2)



La potencia acústica varía entre un valor de:

$W_{\min} = 10^{-9}$ Watt correspondiente al umbral de audición

y

$W_{\max} = 10^{+6}$ Correspondiente al despegue de un avión.

Se hace además necesario establecer una potencia base respecto a la cual se han de referenciar los demás niveles de potencia sonora y dado que las sensaciones siguen una ley logarítmica, para la expresión de las potencias en watt se tiene el nivel de potencias como:

$$Nw (db) = 10 \times \log_{10} \frac{W}{W_0} \quad \text{(Formula 3)}$$

Para la intensidad sonora en Watt/m² se tiene el nivel de intensidades sonoras como;

$$Ni (db) = 10 \times \log_{10} \frac{I}{I_0} \quad \text{(Formula 4)}$$

Como la intensidad sonora esta ligada a las presiones sonoras, parámetro de fácil medición se tiene el nivel de presiones sonoras;

$$Np (db) = 10 \times \log_{10} \frac{p^2}{p_0^2} \quad \text{(Formula 5)}$$

$$Np (db) = 20 \times \log_{10} \frac{p}{p_0} \quad \text{(Formula 6)}$$

Estas relaciones se expresarán en todos los casos, como niveles de presión sonora acústica.

La **Tabla 1** nos indica la conversión de presiones de intensidad sonora en niveles de presión sonora y los niveles típicos esta misma de acuerdo a las distintas actividades.

En la escala se indica, los niveles de presión sonora en las Plantas de Gas actuales y en las propuestas.

Tabla 1. Presiones Sonoras y niveles de presión sonora en dB

Valor Presión		Nivel Presión Sonora	
100000	MiliPa	134	dBa
10000	MiliPa	114	dBa
1000	MiliPa	94	dBa
100	MiliPa	74	dBa
10	MiliPa	54	dBa
3.5565	MiliPa	45	dBa
1	MiliPa	34	dBa
0.1	MiliPa	14	dBa
0.02	miliPa	0	dBa

Niveles de Presión Sonora de Elementos Habituales	
140	Despegue de un Avión a Reacción
130	
120	UMBRAL DE DOLOR
110	Plantas de Gas (1)
100	Fábrica de Construcción Pesada
90	Tráfico de Ciudad
80	Plantas Gas (2)
70	Conversación normal
60	Música suave de Fondo
50	Laboratorio
40	Casas en el entorno de las Plantas de Gas (3)
30	Salas Control Plantas (Diseño ARCAN) (4)
20	Areas residenciales durante la noche
10	Areas campestres durante la noche
0	UMBRAL DE PERCEPCION

NOTAS :

- (1)** Se refiere a las Plantas Compresoras, Estaciones de Medición y Estaciones de Regulación sin ningún tipo de protección acústica y en un entorno de aproximadamente hasta 3 metros de la fuente generadora de ruido.
- (2)** Se refiere a las Plantas Compresoras, Estaciones de Medición y Estaciones de Regulación con algún tipo de protección acústica y en un entorno de aproximadamente hasta 3 metros de la fuente generadora de ruido.
- (3)** Se refiere al nivel de intensidad sonora máxima dispuesto por el ENARGAS para las áreas habitables circundantes a una planta compresora de gas, de regulación de presión, y/o de medición. Esto presupone que las plantas de gas se deberán controlar en forma acústica de acuerdo a la pauta de 45 dBa máximos.
- (4)** Se refiere al diseño de las salas de control TGN/ARCAN de las plantas compresoras de bajo ruido.

Las bandas de octavas se utilizan para describir el ruido desde las fuentes generadoras de niveles de presión sonora.

El rango de frecuencias que discrimina el oído humano va de un rango de 45 Hz a 11.200 Hz, en **ocho bandas de octavas**.

La **Tabla 2** describe las frecuencias del centro de las bandas de octavas.

Rango	Tabla 2. Frecuencias en el Centro de bandas de Octavas (Hz)							
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Frecuencia	45	90	180	355	710	1400	2800	5600
Hz	90	180	355	710	1400	2800	5600	11200

Si bien en un análisis acuático, teniendo en cuenta el rango frecuencias indicadas y las frecuencias centrales de bandas indicadas en la **Tabla 2**, son suficientes, en determinados casos se agrega una novena banda de octava centrada en 31.5 Hz con un rango de frecuencias que van desde los 22 a los 45 Hz.

El nivel de intensidad sonora generado es en realidad un espectro de frecuencias y amplitudes que son ponderadas por el oído de distinta manera.

A distintas frecuencias, el mismo nivel de intensidad sonora da distintas sensaciones y molestias, por lo tanto, los cálculos acústicos y los sistemas de medición de presión sonora tendrán en cuenta el factor de atenuación o amplificación sensorial en función de la frecuencia de la generadora acústica.

Existen diferentes escalas de atenuación y amplificación para la adaptación del ruido físico al sensorial del oído humano.

Las escalas son A, B,C, y D, las cuales imitan la repuesta sensorial del oído humano.

De las cuatro ponderaciones, la que más se aproxima a la percepción del oído humano es la Escala A, por lo tanto para la evaluación y diseño de los sistemas de control de ruido se utilizará esta escala y el filtro (A) en los sistemas de medición.

Esta ponderación expresa el nivel de presión sonora de un fenómeno acústico complejo, formado por una infinidad de armónicas, en función de la sensación psico-física sin tener en cuenta las frecuencias de las armónicas individuales, correspondientes a las octavas de banda. Así por ejemplo, un nivel de presión sonora de 100 dBA tiene el espectro que se detalla en la **Tabla 2**.

Tabla 3. Curva ponderada por el oído humano como de 100 dBA en todo el espectro.

Frecuencia Central Banda Octava	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	8000 Hz
Nivel de Presión Física Generado por la Fuente Sonora (dB)	126.2	116.1	108.6	103.2	100	98.8	99.0	101.1
Atenuación Amplificación agregada sensorialmente por el oído (dBA)	-26.2	-16.1	-8.6	-3.2	0	1.2	1	-1.1
Nivel de Presión Sensorial Ponderado (dBA)	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0

Como se puede ver el oído humano percibe a una frecuencia de banda de octava de:

63 Hz → 100 dBA de Nivel de Presión Sonora, cuando físicamente se generan 126.2 dB

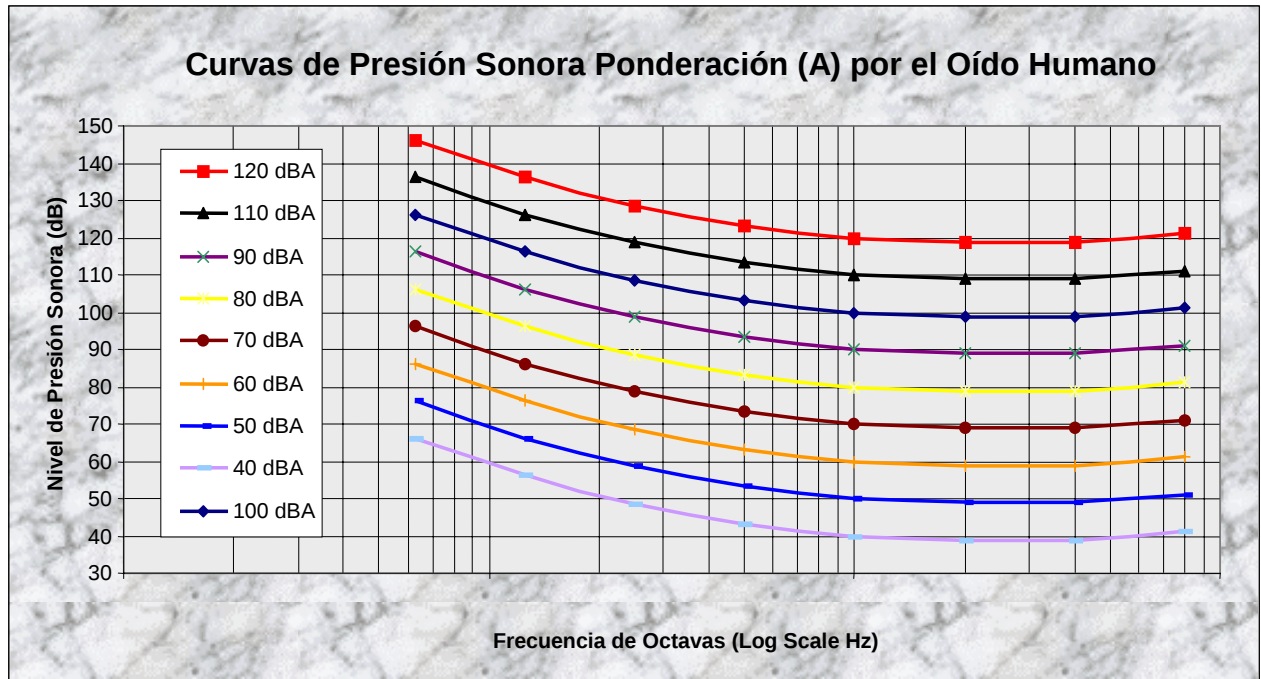
a una frecuencia de:

1000 Hz → 100 dBA de Nivel de Presión Sonora, cuando físicamente se generan 100 dB.

Esta condición de nivel de presión sonora es la de referencia

y a una frecuencia de:

4000 Hz → 100 dBA de Nivel de Presión Sonora, cuando físicamente se generan 99 dB.

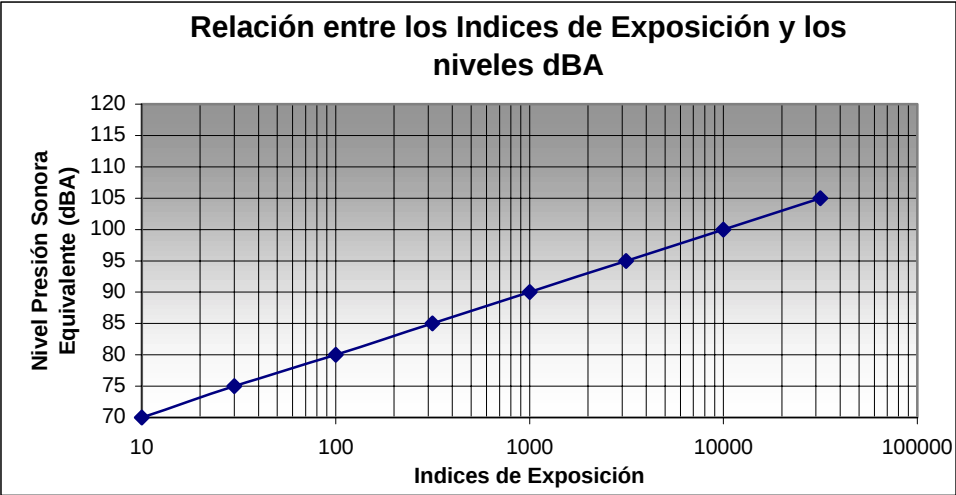
Figura 2. Curvas de Presión Sonora Ponderación A

Quiere decir que el oído humano trata de aumentar los niveles de presión sonora de **bajas frecuencias** y disminuir los de **alta frecuencia**. En resumen el oído interpreta que un ruido de baja frecuencia es menos peligroso que uno de alta frecuencia, teniendo en cuenta que ambos tienen el mismo nivel de presión.

Para determinar cuán peligroso es un nivel de presión sonora, se incluye un factor importante, el **Tiempo de Exposición**, y un indicador resulta ser el índice de exposición a la presión sonora lo que se indica en la **Tabla 4**. en la siguiente página.

Tabla 4. *Tabla de tiempo de exposición permisible para el personal operativo y de mantenimiento con protectores auditivos*

Exposición Semanal			Nivel de Presión Sonora media en dBA								
Indice de Exposición	Horas	Minutos	70	75	80	85	90	95	100	105	115
	-	10	-	-	-	5	15	40	130	130	415
	-	12	-	-	-	5	15	50	160	160	500
	-	14	-	-	-	5	20	60	185	185	585
	-	16	-	-	-	5	20	65	210	210	665
	-	18	-	-	-	10	25	75	235	235	750
	-	20	-	-	-	10	25	85	265	265	835
	-	25	-	-	-	10	35	105	330	330	1040
	0.5	30	-	-	-	15	40	125	395	395	1250
	-	40	-	-	-	15	55	165	525	525	1670
	-	50	-	-	-	20	70	210	660	660	2080
	1	60	-	-	5	25	80	250	790	790	2500
	-	70	-	-	5	30	90	290	920	920	2920
	-	80	-	-	5	35	105	330	1050	1050	3330
	1.5	90	-	-	5	40	120	375	1190	1190	2750
	-	100	-	-	5	40	130	415	1320	1320	4170
	2	120	-	-	5	50	160	500	1580	1580	5000
	2.5	-	-	-	5	65	200	625	1980	1980	6250
	3	-	-	-	10	75	235	750	2370	2370	7500
	3.5	-	-	5	10	90	275	875	2770	2770	8750
	4	-	-	5	10	100	315	1000	3160	3160	10000
	5	-	-	5	15	125	395	1260	3950	3950	12500
	6	-	-	5	15	150	475	1500	4740	4740	15000
	7	-	-	5	20	175	555	1750	5530	5530	17500
	8	-	-	5	20	200	630	2000	6320	6320	20000
	9	-	-	5	25	225	710	2250	7110	7110	22500
	10	-	5	10	25	250	790	2300	7910	7910	25000
	12	-	5	10	30	300	950	3000	9490	9490	30000
	14	-	5	10	35	350	1110	3500	11100	11100	-
	16	-	5	15	40	400	1260	4000	12600	12600	-
	18	-	5	15	45	450	1420	4500	14200	14200	-
	20	-	5	15	50	550	1500	5000	15800	15800	-
	25	-	5	20	65	625	1980	6250	19800	19800	-
	30	-	10	25	75	750	2370	7500	23700	23700	-
	35	-	10	30	90	875	2770	8750	27700	27700	-
	40	-	10	30	100	1000	3150	10000	31600	31600	-



FUENTES DE RUIDO EN UNA ESTACIÓN DE REGULACIÓN Y MEDICIÓN

En las estaciones de regulación y medición, se han detectado diferentes fuentes de radiación acústica hacia el medio ambiente, las que hemos clasificado de acuerdo al mecanismo de generación del nivel de presión sonora, dichas fuentes se detallan en las siguientes tablas;

Tabla 5.a. Fuentes de ruido en una Planta de Regulación y Medición, sus mecanismos de generación y el impacto en el nivel molesto –Tuberías y accesorios-

Tubería y Accesorios		
Componentes	Mecanismo de Generación	Molestia
Tubo Recto	• Turbulencia	Baja con velocidad menor de 15 m/seg Permanente
Reducciones	• Turbulencia	Mediana Permanente
Codos	• Turbulencia	Mediana Permanente
Tees	• Choques contra Pared • Turbulencia • Vórtices con Efectos de Resonancia en Tramos sin Circulación.	Mediana Permanente

Tabla 5.b. Fuentes de ruido en una Planta de Regulación y Medición, sus mecanismos de generación y el impacto en el nivel molesto –Equipamiento-

Equipamiento		
Componentes	Mecanismo de Generación	Molestia
Separadores	• Turbulencia • Rotacional en Cartuchos • Choques contra Pared	Mediana Permanente
Calentadores	• Turbulencia • Ondas de Choque en Combustión	Mediana Permanente

Tabla 5.c. Fuentes de ruido en una Planta de Regulación y Medición, sus mecanismos de generación y el impacto en el nivel molesto –Válvulas en general-

Válvulas		
Componentes	Mecanismo de Generación	Molestia
Válvulas de Bloqueo	• Turbulencia	Baja con velocidad menor de 15 m/seg Permanente
Válvulas de Control Normales	• Turbulencia • Ondas de Choque • Zumbido por resonancias de la configuración • Interacciones • Impacto de la vena sobre las paredes de la válvula	Muy Alta Permanente
Válvulas de Control Anti-ruido	• Ondas de Choque • Zumbido por resonancias de la configuración • Interacciones • Impacto de la vena sobre las paredes de la válvula	Mediana a baja Permanente

Tabla 5.d. Fuentes de ruido en una Planta de Regulación y Medición, sus mecanismos de generación y el impacto en el nivel molesto –Válvulas de seguridad y Venteos-

Venteos y Alivios de Presión		
Componentes	Mecanismo de Generación	Molestia
Válvulas de Seguridad o Alivio.	• Turbulencia • Ondas de Choque • Velocidades Sónicas	Muy Alta Ocasional
Chimenea de Venteo	• Turbulencia • Ondas de Choque • Velocidades Sónicas	Muy Alta Ocasional

Tabla 5.e. Fuentes de ruido en una Planta de Regulación y Medición, sus mecanismos de generación y el impacto en el nivel molesto –Elementos de medición-

Elementos de Medición		
Componentes	Mecanismo de Generación	Molestia
Placa Orificio	• Turbulencia	Baja si ΔP < a 25 kPag Mediana si ΔP está entre:25-100 kPag Alta si ΔP > de 100 kPag Permanente
Turbina	• Turbulencia • Rotacional • Vórtices	Baja Permanente
Ultrasónico	• Turbulencia	Baja Permanente

Tabla 6. Mecanismos de Intensificación de ruido acústico
– Tramos de derivación sin circulación-

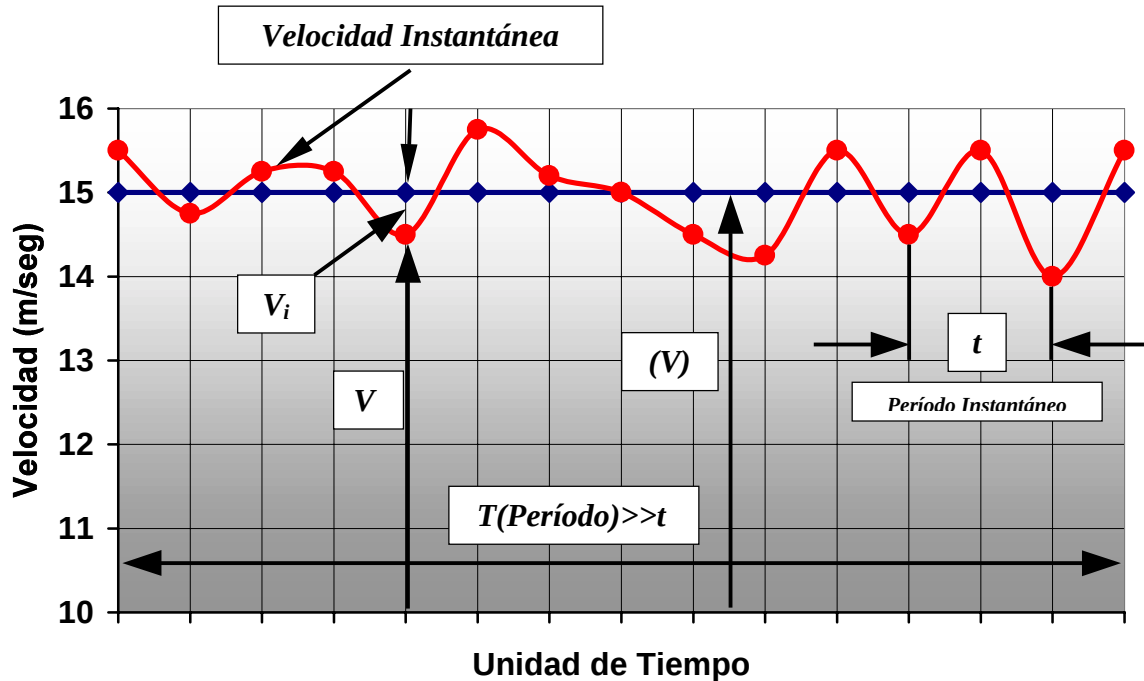
Tees		
Componentes	Mecanismo de Generación	Molestia
Derivación sin Circulación	• Vórtices y Resonancia Acústica	Alta Permanente
Principal sin Circulación	• Vórtices y Resonancia Acústica	Baja Permanente

FENÓMENO DE GENERACIÓN DE RUIDO EN SISTEMAS DE TUBERÍAS Y VÁLVULAS

Los elementos generadores de ruido acústico mencionados, reconocen en forma primordial como origen del nivel de presión sonora el ruido aerodinámico, que es el resultante de las tensiones y de los esfuerzos de corte de Reynolds-Navier-Stokes propiedades de un flujo turbulento.

En un flujo turbulento, las partículas del fluido se mezclan violentamente y la velocidad del fluido en un punto varía al azar con el tiempo como puede verse en la **Figura 3**.

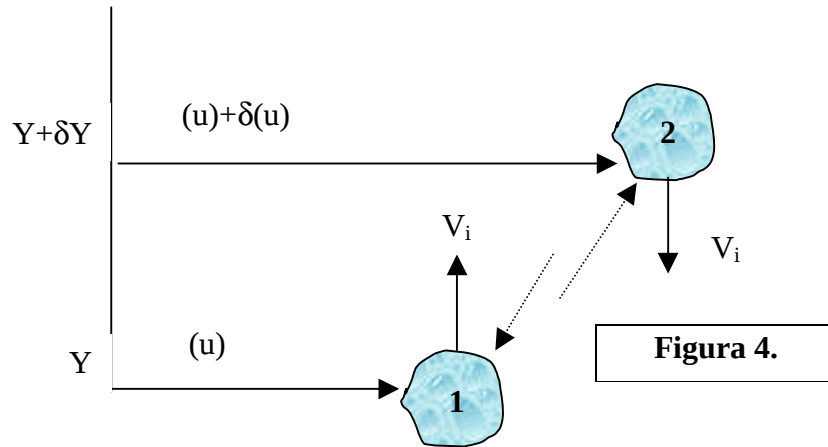
Figura 3. Velocidad del Fluido en un flujo turbulento



Las variaciones de velocidad de períodos t determinan ondas de presión de frecuencia $f = 1/t$ que como puede verse en la **Figura 3**, son variables, por lo tanto en toda circulación de fluido en flujo turbulento se tendrán ondas de presión de frecuencia y amplitudes variables. Por lo general, estas frecuencias caen dentro del espectro de respuesta del oído humano.

Desde un punto de porciones macroscópicas de fluido que se mueven en un flujo turbulento, la generación de ruido se explica desde un punto de vista de la aparición de las tensiones o esfuerzos de Reynolds dentro de un flujo turbulento.

Refiriéndonos a las **Figuras 4. y 5.**:



$T = 0$ Antes del Intercambio de partículas

En el tiempo $t = 0$ (**Figura 4.**) la partícula de fluido 1 ocupa la posición Y , con una velocidad promedio (u) .

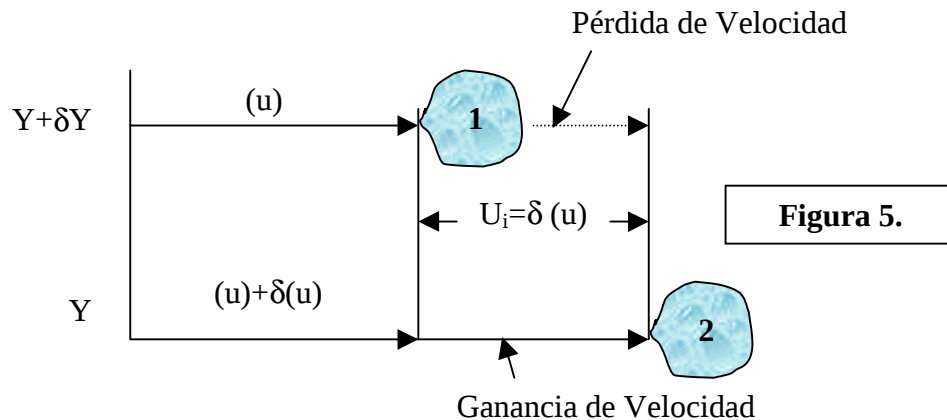
En el tiempo $t = 0$ (**Figura 4.**) la partícula de fluido 2 ocupa la posición $Y + \delta Y$ con una velocidad promedio $(u) + \delta(u)$.

Las fluctuaciones de velocidad en un flujo turbulento son bidimensionales e instantáneas denominadas:

U' en la dirección del flujo y,

V' en la dirección normal del flujo

En el tiempo $t = 0 + \delta t$, debido al mezclado turbulento, la partícula 1 intercambia su posición con la partícula 2 como puede observarse en la **Figura 5.**



$T = 0 + \delta T$ Después del Intercambio de partículas

El intercambio de las dos partículas ha provocado un incremento de movimiento en la ubicación Y , y una disminución de cantidad de movimiento en la ubicación; $Y + \delta Y$



Como este tipo de intercambio ocurre continuamente existe una velocidad neta de transferencia de cantidad de movimiento entre Y e $Y + \delta Y$ como consecuencia de las variaciones de velocidad.

Desde el punto de vista de un promedio temporal, esta transferencia de cantidad de movimiento se traduce en una fuerza – y sobre una base por unidad de área – a un esfuerzo o una tensión.

Cuantitativamente se expresa como:

$$\tau = -\rho \cdot u' \cdot v' \quad (\text{Formula 7})$$

, que cualitativamente responde a un esfuerzo de corte.

Se ve que este esfuerzo o tensión que produce un colapso del fluido es función de la densidad del fluido, y las variaciones instantáneas de las velocidades lineales y normales a la dirección del flujo.

Además como se ve en la **Figura 3**, las frecuencias de estas velocidades son variables, por lo tanto la emisión acústica de la circulación de un fluido tiene un espectro y cada componente del espectro una determinada amplitud y una determinada frecuencia.

En una tubería recta se puede expresar que el ruido aerodinámico proviene exclusivamente de la turbulencia y no depende de la caída de presión.

En una válvula, como en los orificios, cambio de direcciones, y cambio de la sección transversal por la que atraviesa el flujo, la generación de ruido acústico es mucho más compleja y reconoce las siguientes causas.

- Turbulencia
- Ondas de Choque
- Zumbido por resonancias de la configuración
- Interacciones de los distintos fenómenos
- Impacto de la vena sobre las paredes de la válvula

Dado el fenómeno complejo, el espectro de la emisión acústica resulta más aleatorio y complejo, debido a que en el caso de la válvula de control, empieza a tener influencia la diferencia de presión que se logra en un trayecto muy corto, no obstante es el diámetro de la vena la que comanda la frecuencia central.

Si la vena es de un diámetro grande, el espectro de la emisión acústica tiende a concentrarse en bajas frecuencias, mientras que las de pequeño diámetro tratan de producir altas frecuencias.

Una planta de regulación y medición es una configuración que comprende la unión de válvulas de control, válvulas de bloqueo, tuberías y accesorios.

La emisión acústica de una tubería trabajando en velocidades promedio normales no genera niveles de presión sonora altos. Lo mismo ocurre con las válvulas de bloqueo que se seleccionan de paso total.

Pero otra cosa totalmente distinta ocurre con las válvulas de control, los orificios, y los accesorios de cambio de dirección y de sección. En este caso la emisión acústica resulta excesiva si no se toman medidas de control por medio de diseños apropiados (control interno) y protecciones (control externo localizado) apropiadas.

En la **Tablas 5.a.b.c.d.e y 6.** se han resumido las fuentes de generación e intensificación de ruido en los componentes que integran una planta de medición y regulación, con estas indicaciones se realiza el modelo acústico de la configuración a analizar.

MEDICIÓN DE LOS NIVELES DE PRESIÓN SONORA EN LAS EMR EXISTENTES

Para realizar la Ingeniería de Control de los niveles de presión sonora en una estación de medición y control de presión existente, es necesario realizar una exhaustiva medición de los niveles de ruido en cuadrículas de 2x2 metros o menores y a distintas alturas. Las mediciones deben abarcar la identificación de las distintas fuentes de ruido, el área de operación, el perímetro de la instalación y toda la zona circundante, comprendiendo las residencias más cercanas y el área sensible al ruido.

En lo posible, las mediciones se deberán realizar para distintas condiciones operativas y ambientales de la instalación, y en lo posible para las condiciones extremas.

Es fundamental, que estas mediciones se realicen en forma detallada, ya que son el punto de partida para el desarrollo de la Ingeniería de Control encomendada.

La metodología de medición seleccionada, permitirá identificar en forma pura, las fuentes de ruido evitando la contaminación con las fuentes adyacentes.

En lo referente a la identificación de las fuentes puras se recomienda aislarlas en forma acústica por medio de carcazas insonoras inmunes a los ruidos generados por los elementos adyacentes. Se encuentran dentro de esta categoría:

- a. Las válvulas de control de presión
- b. Los codos, las reducciones y las derivaciones.

En lo referente al aporte de ruido de las distintas secciones de la tubería, se ha de medir en secciones de longitudes de 0.50 metros con aislador de carcaza, para evitar el aporte de los tramos

contiguos. Es de suma importancia, esquematizar la instalación con las dimensiones generales y las dimensiones en detalle de las fuentes de ruido.

En el caso de la identificación de las fuentes de ruido, la medición se debe realizar sobre los elementos. El instrumento de medición de los niveles de presión sonora deberá ser calibrado en ponderación (A) del oído humano y debe realizarse para todo el ancho de bandas de octavas, desde la frecuencia central de 63 Hz a 8000 Hz. (rango de 45 a 11.200 Hz). Se realizará además, un análisis espectral de la onda sonora.

En lo referente a la medición de nivel de presión sonora en la residencia más cercana o en el área sensible al ruido, la metodología deberá verificar la contribución del ruido generado por la instalación de gas al ruido captado por el receptor. Dado que hay fuentes externas de generación de ruido, tales como el tráfico, la metodología deberá diferenciar el aporte de ambos ruidos. Es necesario que se realice un ciclo largo de mediciones, por ejemplo de 24 horas.

Deberá tenerse en cuenta además las diferentes condiciones ambientales, tales como el viento, la lluvia y la humedad. En lo referente a la medición del espectro instantáneo del ruido, contribuido por el ruido generado por la instalación, deberá realizarse en condiciones de quietud externa total, no debiendo existir ni tráfico, ni música, ni ningún otro ruido de fondo de nivel apreciable.

CONTROL DE LOS RUIDOS

El control del ruido debe considerarse como una parte integral del rediseño de las estaciones existentes y las nuevas a rediseñar, para cumplimentar con los requerimientos del ENARGAS.

El control de ruido se basará en los siguientes conceptos básicos;

1. Desplazar el espectro de generación de presión sonora fuera de los rangos de la audición del oído humano.
2. Atenuar el espectro de generación sonora mediante el diseño y selección adecuada de los elementos componentes de las estaciones reguladoras.
3. Atenuar el espectro de generación sonora mediante el agregado de atenuadores externos, tales como aisladores acústicos de tuberías, válvulas, y equipamientos en general.
4. Atenuar el espectro de generación sonora mediante casetas de insonorización que encierren los elementos principales de generación de ruido.

En lo referente a la solución **1** no resulta práctica por ahora.

Consideramos que dado los bajos niveles de intensidad sonora requeridos por el Ente Regulador de Gas, es necesario utilizar como conceptos de control los conceptos **2, 3 y 4**.

A la luz de lo expuesto anteriormente, los elementos de control de ruido en el rediseño de las EMR existentes y en las nuevas a diseñar, las especificaciones incluirán;

1. Flujo del Gas desde la entrada (tubería enterrada) hasta la salida (tubería enterrada) y característica de las tuberías y accesorios en la parte aérea incluyendo los colectores.
2. Flujo del Gas en las válvulas de bloqueo y característica de las mismas.
3. Flujo del Gas en las válvulas de control y característica de las mismas.
4. Flujo de Gas en las líneas y chimenea de venteo y sus características.
5. Flujo de Gas en las válvulas de seguridad y alivio de presiones y características de las mismas.
6. Flujo de Gas en los Filtros – Separadores, y Calentadores y característica de los mismos.
7. Modelo de la Emisión Acústica Individual Permanente.
8. Modelo de la Emisión Acústica Combinada Permanente.
9. Modelo de la transmisión de la emisión acústica y las vibraciones mecánicas en soportes y estructuras.
10. Selección del Control Interno de la Emisión Acústica.
11. Selección del Control Externo de la Emisión Acústica.
12. Selección de los materiales de aislación acústica y de vibración mecánica.
13. Selección de las casetas de insonorización.
14. Modelo del Sistema con Protección Interna y Externa.
15. Verificación del Impacto sobre el personal de mantenimiento y de operación.
16. Verificación del Impacto sobre el vecindario.
17. Mediciones del rediseño y verificación con los modelos teóricos y modificaciones necesarias.

CONTROL DE LOS RUIDOS TRABAJANDO SOBRE LAS FUENTES Y SUS PARAMETROS

A continuación se detalla el control de ruido en una EMR, actuando sobre los parámetros y los elementos:

Diferencia de Presión en Válvulas de Control: Dado que el nivel de presión sonora generado por una válvula de control es fuertemente dependiente de la diferencial de presión, se indica que en el diseño de las estaciones de EMR de Bajo Ruido, no deben tener una relación de expansión superior a 2.

Control de Ruido: *Diseñar el sistema de control de presión en varias etapas a fin de minimizar la emisión de ruido, respetando la relación de expansión a 2. De esta manera se crean dos fuentes de emisión de presión sonora de bajo nivel, en lugar de una fuente de emisión de alto ruido.*

Diseño de las Válvulas de Control: En general un buen diseño de la válvula de control, desde un punto de vista operativo, resulta en una menor generación de niveles de presión sonora.

Control de Ruido: *Dada las condiciones de presiones, caudales, y temperaturas de la estación de regulación de presión, se deberá diseñar las válvulas de control de tal manera que la apertura para las condiciones continuas y normales de operación este cerca del 60%.*

Tipo de las Válvulas de Control: La selección del tipo de válvula es fundamental para la disminución de la emisión de ruido.

Control de Ruido: *Dada las condiciones estrictas de niveles de presión sonora requeridas por el Ente de Regulación ENARGAS, es necesario especificar válvulas de bajo ruido.*

Accesorios: La disminución de las reducciones, codos, y tees en el diseño de una EMR de bajo ruido es fundamental. En el caso de las reducciones entre el tramo de regulación y la válvula de control, para la adaptación del diámetro de la válvula de control con el diámetro del tramo de regulación, se generan fuertes emisiones de ruidos. Lo mismo sucede con los elementos de derivación tales como las tees y en los elementos de cambio de dirección, como es el caso de los codos.

Control de Ruido: *En el caso de las reducciones se deberá limitar la relación de reducción de diámetros a 1.5, que es totalmente posible utilizando válvulas de control de pasaje reducido pero con bridas de conexión de diámetro superior. En el caso de las derivaciones se deberán utilizar tees de contornos suaves y en el caso de los cambios de dirección se utilizaran curvas de radio largo.*

Tuberías: Una buena configuración y diseño de diámetros propende a una baja emisión de ruido por parte de los tramos de tubería en las estaciones de regulación y medición.

Control de Ruido: *Una de las soluciones, para evitar un excesivo aporte de ruido por parte de la tubería es limitar la velocidad a 15 m/seg en los tramos de alta presión de la EMR y a 25 m/seg en los tramos de baja presión.*

Colectores: Una buena configuración y un buen dimensionamiento de los colectores de distribución de presión, tanto en la alta presión como en la baja presión, propenden a una emisión de baja presión.

Control de Ruido: *Se debe realizar un estudio de distribución de flujo y un estudio acústico para disminuir la emisión de ruido y evitar resonancias acústicas con los vórtices generados en las derivaciones.*

Válvulas de Bloqueo

Control de Ruido: *En todos los casos se deben seleccionar válvulas de paso total y del mismo diámetro que los tramos de medición.*

Válvulas de Seguridad: En general un buen diseño de la válvula de seguridad, desde un punto de vista operativo, resulta en una menor generación de niveles de presión sonora.

Control de Ruido: *Se debe realizar una exhaustiva selección de las válvulas de seguridad desde el punto de la curva de ruido en función de la diferencia de presión durante el venteo ó alivio de presión.*

Separadores: En general un buen diseño del separador, desde un punto de vista operativo, resulta en una menor generación de niveles de presión sonora, en conjunción con una selección de los elementos filtrantes.

Control de Ruido: *Trabajar con bajas diferenciales de presión. En el caso que comience a detectarse un aumento de presión producir la renovación de los mismos.*

Calentadores de Gas: En general un buen diseño del calentador, desde un punto de vista operativo, y en especial de los quemadores resulta en una menor generación de niveles de presión sonora.

Control de Ruido: *No existe una indicación de control de ruido específico, por lo que todo depende del estudio previo del equipo.*

Medición de Caudales: En general un buen diseño del sistema de medición para las condiciones operativas normales y/o la selección del tipo de elemento primario de medición, disminuirán los niveles de generación de presión sonora.

Control de Ruido: *En el caso de seleccionarse como elemento de medición una placa de orificio, y supuesto seleccionado en forma correcta el valor β se recomienda trabajar con diferenciales de presión máximos de 2500 mmH₂O. La selección de elementos de medición ultrasónicos que no introducen pérdidas de carga por inserción eliminan al elemento de medición como fuente de ruido. Las turbinas de medición, prácticamente no introducen ruido acústico, pero si los elementos limitadores de caudal.*

CONTROL DE LOS RUIDOS TRABAJANDO EN FORMA EXTERIOR PARA ELEMENTOS LOCALIZADOS

En el caso de las Válvulas de Control, Accesorios, Tuberías, Colectores, Válvulas de Bloqueo, Válvulas de Seguridad, Separadores, Calentadores de Gas, Tramos de Medición y elementos de medición:

Control de Ruido: *La utilización de aislaciones acústicas prefabricadas y removibles para el mantenimiento y verificación del estado fase aisladora superficie metálica del tubo son la solución ideal para disminuir la emisión de presión sonora al medio ambiente.*

CONTROL DE LOS RUIDOS TRABAJANDO EN FORMA EXTERIOR UTILIZANDO BARRERAS ACUSTICAS

Configuración total de las tuberías, equipamiento, accesorios y válvulas de control

Control de Ruido: *Aparte del control de interno del ruido y del externo localizado se recomienda encerrar las áreas generadoras de ruido mediante cerramientos laterales y cerramiento de techo parcial. De esta manera se forma una segunda barrera que ha de impedir la propagación de ruido a las áreas sensibles al ruido.*

CONTROL DE LOS RUIDOS EN EL PERÍMETRO DE LA PLANTA

Control de ruido en el cerco perimetral

Control de Ruido: Es recomendable formar una barrera por medio de arboleda densa en el perímetro de la Planta.

EJEMPLO DE CONTROL DE RUIDO EN UNA EMR

Paso 1

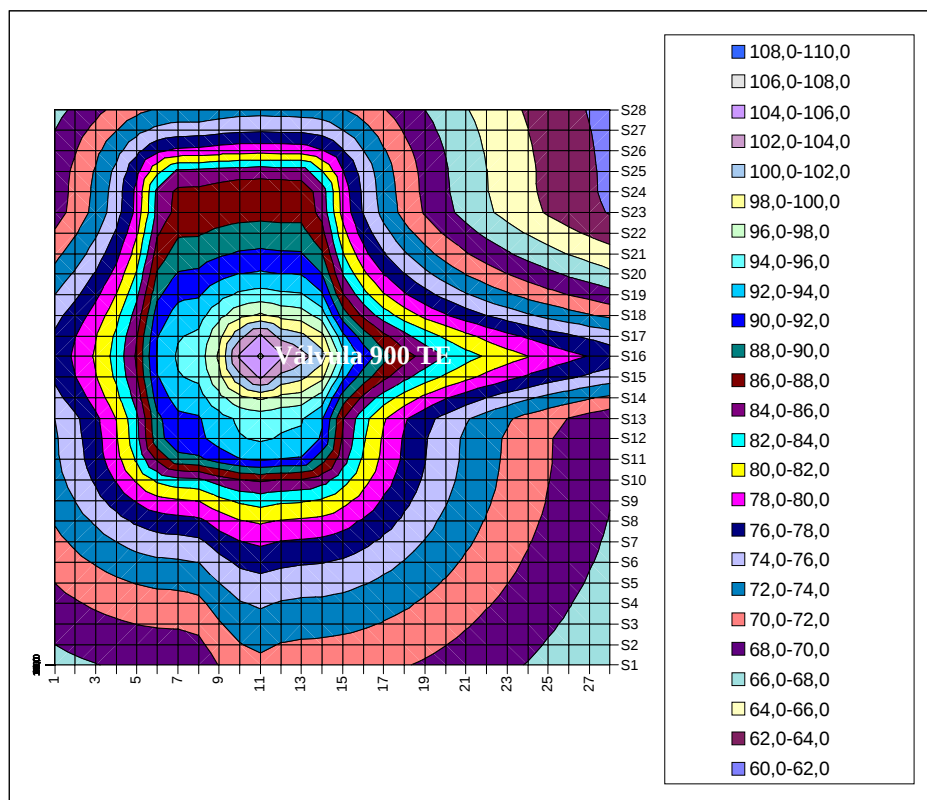
Personal operativo de TGN S.A detecta estaciones de EMR que emiten niveles de presión altos y molestos tanto para el vecindario como para el personal operativo y de mantenimiento.

Paso 2

Para evaluar la situación se realiza un mapa de los niveles de presión sonora en la EMR y las áreas circundantes, sensibles al ruido.

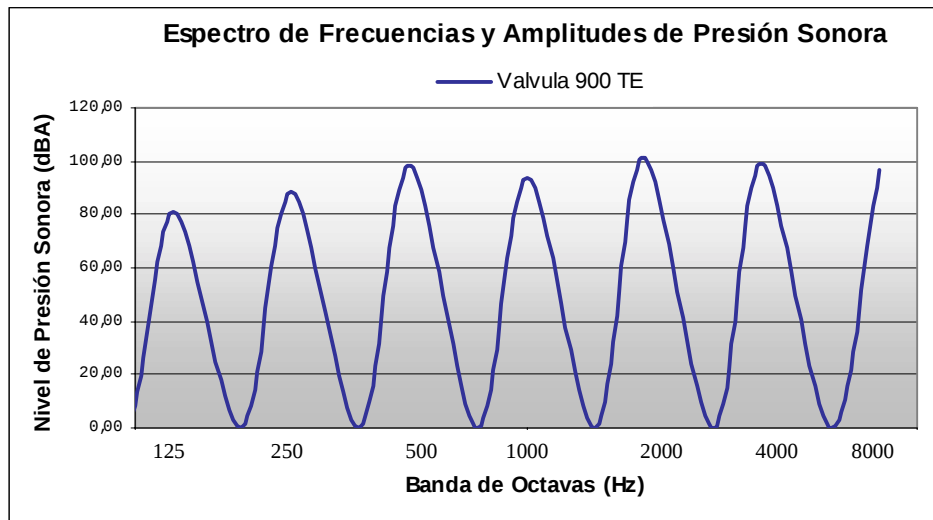
Obteniendo el siguiente mapa a un nivel de 1.70 metros

Figura 7. Cuadrícula de niveles de Presión Sonora en EMR Típica
-Sin aislaciones acústicas-



De acuerdo a este mapa se verifica que la fuente principal de niveles de presión sonora es la válvula de control. De la misma se obtiene un espectro de amplitud en función de la frecuencia central de bandas de octava.

Figura 8. Espectro de frecuencias y Amplitudes de Presión Sonora



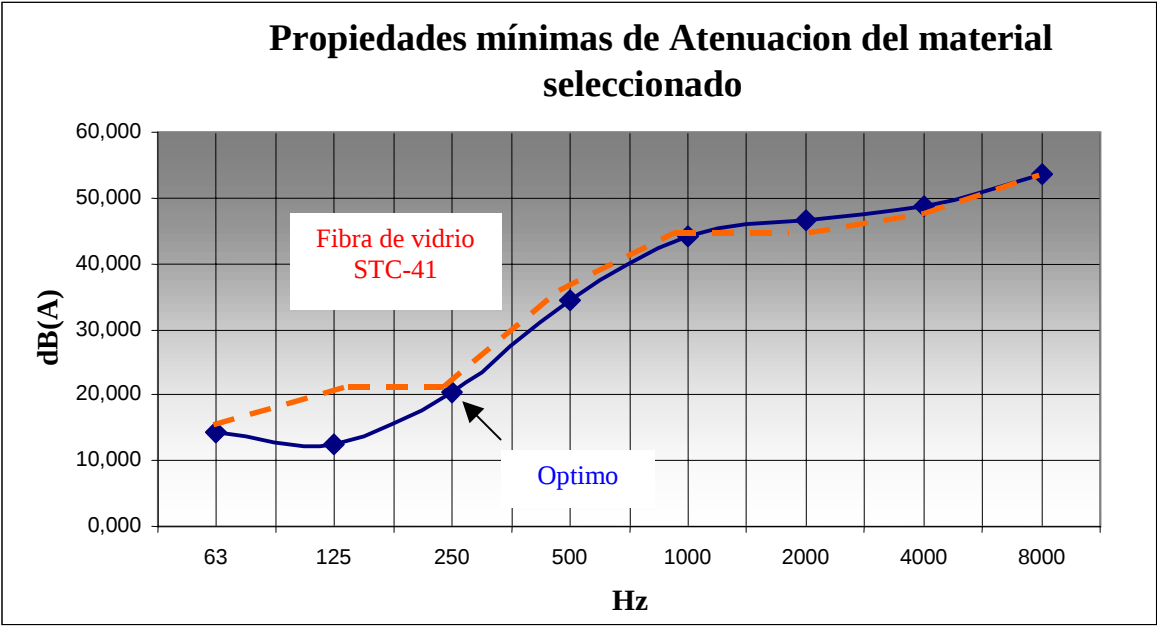
Paso 3

Se rediseña la EMR utilizando el mapa de ruido inicial, el programa PULS, programas computacionales propios, y las siguientes soluciones descriptas anteriormente y que consisten en;

1. Utilizar dos etapas de regulación de presión por la alta relación de expansión.
2. Utilizar válvulas de bajo ruido y diseñadas para estar abiertas un 60% durante las condiciones operativas normales.
3. Efectuar un control externo con aislaciones acústicas premoldeadas del tipo removible.
4. Efectuar un control externo circundante con barreras tipo cerramientos con ventilación y extracción de gases en forma natural.
5. Efectuar un control externo de baja eficiencia en el perímetro de la EMR por medio de plantación de arboleda.

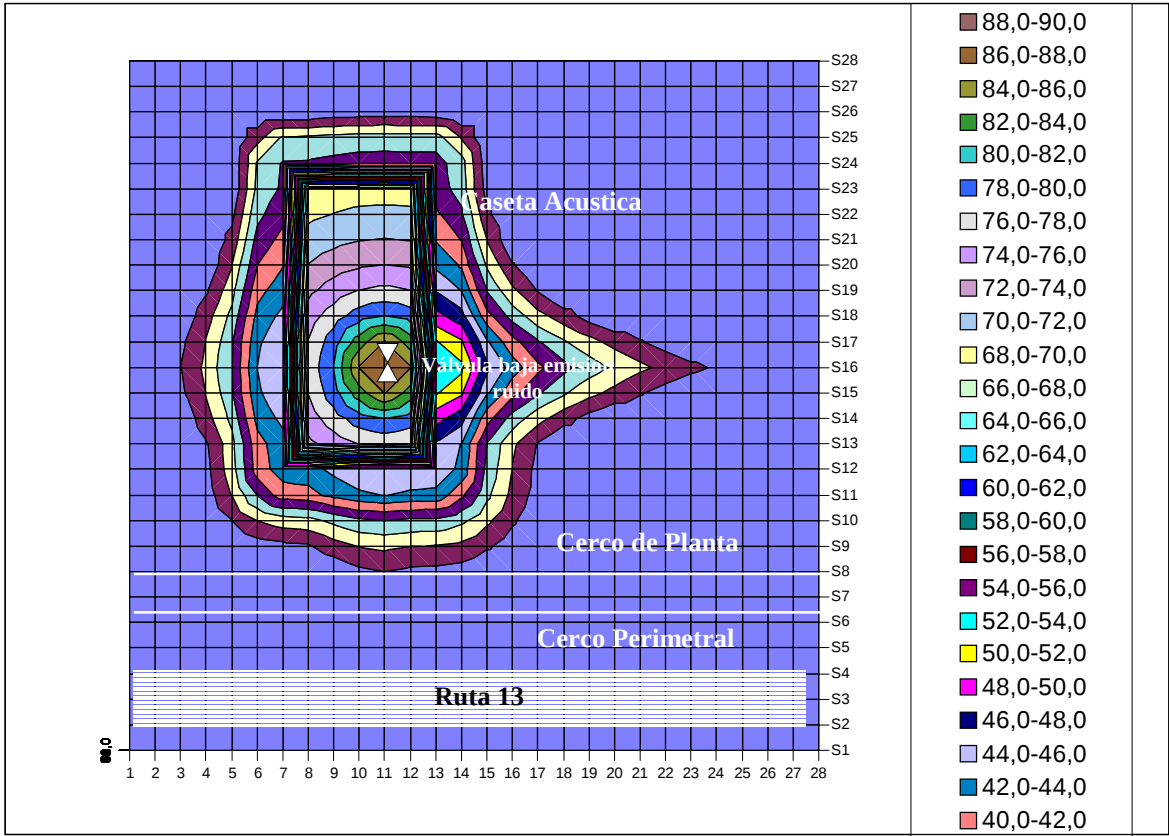
La repuesta espectral ideal de los elementos de control externo se ve en la figura 10 y corresponde a rellenos con fibra de vidrio, premoldeada o en bloques y que responde a la especificación STC-41 de aislación acústica.

Figura 9. Propiedades Mínimas de Atenuación del Material seleccionado



El análisis y rediseño del sistema ha arrojado el siguiente mapa de niveles de presión sonora a una altura de 1.70 metros del nivel del suelo.

Figura 10. Cuadrícula de niveles de Presión Sonora en EMR Típica -Con Aislación Acústica-



Como se ve desde un punto de vista de predicción de ruido el área de trabajo tiene un nivel máximo de 86 dBA y el área sensitiva al ruido menos de 45 dBA.

Una vez realizada la modificación propuesta y debido a lo aleatorio del ruido consideramos que debe realizarse una medición integral de ruido en la EMR y en el área sensible al ruido. Es muy probable que deban efectuarse algunos retoques, pero dado que se han tenido en cuenta todas las pautas se consideran que han de ser modificaciones menores.

CONCLUSIONES

Para las Estaciones de Medición y Regulación existentes se concluye que los siguientes pasos son necesarios para la adecuación de la planta desde el punto de vista acústico.

1. Es necesario medir los niveles de ruido utilizando la metodología descripta. Con lo que se logra una detallada situación del ruido en la EMR y las áreas sensibles al ruido. Además, permite identificar en forma precisa las distintas fuentes de emisión de ruido.
2. Con la configuración de la tubería, accesorios, válvulas y equipamientos y el mapa de nivel de ruido medido, que incluye la totalidad de la Planta y las áreas circundantes sensibles al ruido, se debe construir un modelo computacional con y sin los elementos de control de ruido para tener una visión del antes y el después del control.
3. Los métodos de control descriptos de ruido interno, que actúan sobre la causa del ruido, permiten disminuir la generación de la potencia sonora de la fuente. Esto se logra con un buen rediseño de la configuración, dimensiones, y geometría de la EMR. Un punto esencial del control de ruido es la selección de válvulas de control de bajo ruido y la división de la caída de presión en más de una etapa.
4. Los métodos de control externo localizado, consistentes en forma primordial en aislantes acústicos colocados sobre las fuentes, permiten atenuar el ruido que emiten las fuentes al medio en forma radial. La selección del tipo de aislante acústico y del espesor apropiado permite obtener atenuaciones de entre 20 y 30 dBA. Especial atención se debe prestar a la existencia de las frecuencias de resonancias del material seleccionado evitando, que la resonancia del material entre en el espectro de las bandas de octavas de la ponderación (A) del oído humano.
5. Los métodos de control externo perimetral, consistentes en la construcción de barreras acústica que circundan las fuentes de ruido principales permiten atenuar el ruido que emiten las fuentes al medio. La selección de la parte metálica y el tipo y espesor de aislación acústica de la barrera permite una atenuación adicional de unos 30 dBA. En este caso también debe estudiarse el problema de la resonancia acústica y mecánica de la estructura. La barrera acústica ó cerramiento de circundación total, como las casetas de insonorización, tienen una efectividad de atenuación de la emisión en toda la esfera de radiación sonora, pero en este caso se requiere una ventilación forzada y extracción de gases con instalaciones auxiliares. Se aconseja la construcción de barreras de aislación acústica, de ventilación y extracción de gases en forma natural, con aperturas en el techo que abarquen un 40% como mínimo de la superficie. Esta



última barrera es la recomendada al no requerir instalaciones auxiliares, pero se hace notar que su efectividad es menor considerando que se pueden atenuar unos 25 dBa.

6. Adicionalmente se agregarán barreras de baja eficiencia en el perímetro de la EMR consistente en arboledas. Esta barrera acústica es la última atenuación antes de que la radiación sonora alcance el área externa sensible al ruido. Se considera que podrán lograrse unos 5 dBa adicionales de atenuación.
7. Se considera que debe utilizarse una combinación de, control de ruido interno, externo localizado, externo circundante a las fuentes, y perimetral de baja eficiencia para lograr un nivel sonoro menor de 45 dBa requeridos en las áreas sensibles al ruido.
8. Para el caso de las fuentes de ruido intermitente, tal cómo ocurre con la activación de las válvulas de seguridad, por las condiciones de este proceso se considera que es prácticamente imposible su atenuación a los niveles de presión sonora requerida. Dado que la válvula de seguridad es un elemento de última instancia y que su activación y venteo de gases mantiene la integridad de la Planta y del vecindario, se considera que es de mucho mas importancia la integridad que la ocasional generación de ruido. No obstante se aplicará el control externo de ruido y se estudiará la utilización de silenciadores, pero siempre se tendrá la premisa que es más importante la seguridad que el ocasional ruido molesto.
9. El rediseño acústico descrito permite además proteger al personal de operación y mantenimiento, dado que la combinación indicada en 7 permite atenuar los ruidos en las áreas de trabajo. No obstante en este caso se deberá trabajar con protectores auditivos, activos y pasivos y respetar los tiempos de exposición sonora de la **Tabla 4.** ó de los organismos de Seguridad e Higiene de la zona.
10. Para el caso de las nuevas plantas, el modelo inicial de niveles de presión de ruido en la Planta a diseñar se logrará simulando fuentes generadoras de ruido de acuerdo a cálculos propios, datos de los fabricantes y analogías con las EMR existentes de igual capacidad de regulación y salto de presión. El diseño de control de ruido se realizará siguiendo las conclusiones 1 a 9 para las plantas existentes.

BIBLIOGRAFÍA

Manual de Medidas Acústicas y Control de Ruido. Cyrill M. Harris. Editorial Mc Graw Hill. 3^{ra} Edición.

Informes Técnicos de ARCAN S.A. Análisis de vibraciones en Estaciones de Medición y Regulación.

Resolución 159/96. Secretaría de Política Ambiental.

Resolución 1142. Indicadores de Protección Ambiental emitido por el ENARGAS.

Publicación Nro. 21. Nuovo Pignone

Catálogos de Materiales fono-absorbentes. FONAC ®