



PROYECTO FINAL INGENIERÍA MECANICA

21 de Julio de 2017

“Diseño de una estación de separación, regulación, medición y odorización (ESRM&O)”

Tutor

Pablo Leslabay

Autor

Nazareth Alcalá

51053

Índice

1. Abstract	2
2. Introducción.....	3
3. Estado del Arte	6
4. Estación Los Antiguos	8
4.1. Parámetros operativos	10
4.2. Layout y P&ID Estación	10
5. Equipos principales	13
5.1. Separador Polvo Líquido	14
5.2. Calentador Indirecto	18
5.3. Skid de Medición y Regulación	22
6. Equipos secundarios	27
6.1. Trampa de scrapper.....	27
6.2. Tanque de purga.....	30
6.3. Tanque recolector de líquidos	31
6.4. Filtros FM	32
7. Protección anticorrosiva	33
8. Conclusiones	37

1. Abstract

El presente proyecto contempla el diseño de una estación de separación, regulación, medición y odorización (ESRM&O) de gas natural. Se detallará el proceso de regulación de presión del fluido, los parámetros operativos de la estación según el pliego técnico de la obra y el dimensionamiento de los equipos necesarios para tales requerimientos. Finalmente se estudiarán los mecanismos de corrosión que afectarán a la estación y el dimensionamiento de la protección catódica necesaria.

2. Introducción

El presente proyecto contempla el diseño de una estación de separación, regulación, medición y odorización (ESRM&O) de gas natural.

Dicho proyecto fue propuesto por la empresa BTU S.A. y forma parte de un proyecto global denominado "GASODUCTO DE ALIMENTACION A LOS ANTIGUOS Y LOCALIDADES INTERMEDIAS" el cual contempla la construcción de un gasoducto telescópico de 320,5 kilómetros de longitud con diámetros entre 16" y 6", como también las instalaciones de superficie complementarias necesarias para la operación, seguridad y mantenimiento del mismo.

El punto de partida para abastecimiento de gas consiste en una conexión con el Gasoducto Libertador General San Martín, operado por la empresa transportista de gas TGS. El gasoducto recorrerá la provincia de Santa Cruz de este a oeste y finalizará en la Estación Los Antiguos, como se puede observar en la *Figura 1*.



Figura 1 - Traza del gasoducto "Alimentación a Los Antiguos y Localidades Intermedias"

El gasoducto tendrá en total cinco ESRM&O, ubicadas en Pico Truncado, Koluel Kaike, Las Heras, Perito Moreno y Los Antiguos, siendo la estación de Los Antiguos la última del gasoducto y sobre la que tratará el presente proyecto.

Situación actual del mercado gasífero en Argentina

Hasta el año 1992 la empresa Gas del Estado estaba encargada de la compra, el transporte, la distribución y la comercialización del gas producido, principalmente por YPF, en las cuencas gasíferas argentinas: neuquina, noroeste, San Jorge y Austral.

La Ley 24.076 de 1992 ordenó la separación de estas actividades y las dividió horizontalmente por zonas geográficas. A su vez, esta ley estableció el nuevo marco regulatorio para los segmentos de transporte y distribución.

Las empresas resultantes de este proceso fueron concesionadas mediante licitación pública internacional en diciembre de 1992. Así pues, la estructura de la industria perteneciente a Gas del Estado quedó conformada por dos transportadoras a las que se les asignaron los gasoductos existentes y nueve distribuidoras que atienden el mercado minorista.¹

En la *Figura 2*² se pueden observar los gasoductos principales de la Argentina, las empresas transportadoras asignadas y las nueve distribuidoras que operan en el país.



Figura 2 - Red de gasoductos troncales en Argentina

¹ "Estructura del mercado de gas natural en Argentina"; Bondorevsky, Diego; Año 2001.

² Imagen extraída de la web *Enciclopedia de ciencias y tecnologías de Argentina* <http://cyt-ar.com.ar/cyt-ar/>

Dada la región geográfica donde se ubicará el gasoducto, la compañía distribuidora asignada será la empresa Camuzzi Gas del Sur S.A.

Además de BTU S.A., otras empresas dedicadas a la construcción de gasoductos e instalaciones de superficie en el mercado argentino son: Esuco S.A., Contreras Hnos. S.A. e IECSA, entre otros.

3. Estado el Arte

En Argentina, el Ente Nacional Regulador del Gas (ENARGAS) es el organismo encargado de dictar los reglamentos de seguridad y procedimientos técnicos para la industria del gas en general.

Mediante la resolución 2747/2002 ENARGAS puso en vigencia la norma NAG (sigla de Norma Argentina de Gas) definida como el conjunto de normas y especificaciones técnicas de cumplimiento obligatorio para la industria del gas en la República Argentina. Muchas de estas normas son normas ya existentes sancionadas por la ex Gas del Estado, las cuales fueron renombradas. También son utilizados los códigos ASME y API, especialmente para el diseño y cálculo de equipos.

La construcción del gasoducto de referencia y de sus instalaciones de superficie debe realizarse según estas normas. A continuación se detalla el listado de normas NAG utilizadas para la ingeniería de la ESRM&O Los Antiguos.

Listado de normas empleadas y fuentes de consulta

Norma NAG-100

Normas argentinas mínimas de seguridad para el transporte y distribución de gas natural y otros gases por cañerías.

Norma NAG-108

Revestimiento anticorrosivo de tuberías en condiciones de operación normal.

Norma NAG-148

Condiciones de seguridad para la ubicación e instalación de estaciones de separación y medición y estaciones reductoras de presión.

Norma NAG-153

Normas argentinas mínimas para la protección ambiental en el transporte y la distribución de gas natural y otros gases por cañerías.

Norma NAG-201

Disposiciones, normas y recomendaciones para uso de gas natural en instalaciones industriales.

Código ASME y Código API

En lo que corresponde a su aplicación:

ASME VIII div. I parte UG – 27

Dimensionamiento de envolventes cilíndricas de equipos.

ASME VIII div. I parte UG – 32

Dimensionamiento de cabezales de equipos.

ASME VIII div. I parte UG – 34

Dimensionamiento de tapas de equipos.

API SPEC 12K

Dimensionamiento de la serpentina del calentador indirecto.

4. Estación Los Antiguos

La estación Los Antiguos será la última estación reguladora del gasoducto. Su principal objetivo es la recepción del gas natural que se transporta por el gasoducto y la reducción de presión del mismo para poder adaptarlo a las necesidades de consumo. Por especificaciones del pliego técnico de la obra deberá suministrarse gas a dos presiones diferentes: 25 Kg/cm² para abastecimiento de una usina y 1,5 Kg/cm² para abastecimiento de la red de la localidad de Los Antiguos. Los caudales a suministrar son: 1.000 Sm³/ h a la usina y 5.000 Sm³/ h a la red.

La estación contará con válvula de entrada principal, sistema de regulación y medición, sistema de odorización, calentador indirecto de gas y válvula de salida.

El sistema de regulación está compuesto por un filtro separador de polvo y líquido y filtro seco en stand-by, los que alimentan las dos etapas de regulación.

La primera etapa de regulación está compuesta por dos ramas de regulación en paralelo 70/25 Kg/cm². Cada rama de regulación contará de válvula reguladora controladora, válvula reguladora controladora monitora con bloqueo incorporado y válvula de seguridad por sobrepresión para 10% del caudal. Las válvulas de bloqueo se corresponderán con las presiones actuantes en cada caso.

En la segunda etapa de regulación 25/1,5 Kg/cm², cada rama de regulación contará con válvula reguladora, válvula reguladora monitora con bloqueo incorporado y válvula de seguridad por sobrepresión para 10% del caudal. Las válvulas de bloqueo se corresponderán con las presiones actuantes en cada caso.

Entre los filtros y la primera etapa de regulación se encuentra en paralelo un calentador indirecto de gas a utilizar de acuerdo a las condiciones climáticas.

A la salida de la primera etapa de regulación se encuentra la inyección del odorizador.

A la salida de la etapa de regulación a 1,5 Kg/cm² se ubicará el puente de medición compuesto por dos ramas, una con filtro FM, enderezador de vena y medidor. La otra rama es de stand-by. Estas ramas se unen y van a la válvula de salida.

El sistema de regulación y medición se ubicará sobre una platea de hormigón y bajo un tinglado metálico cerrado con portón corredizo de manera de evitar problemas operativos en la época invernal, relacionados fundamentalmente con el normal funcionamiento de las válvulas de regulación y control así como con las operaciones de mantenimiento por parte del personal.

En la *Figura 3* se puede apreciar un esquema simplificado del Layout de la estación. Las líneas llenas indican el recorrido del flujo dentro de la estación, las líneas punteadas el recorrido de los líquidos de drenaje. La descripción del proceso de regulación se encuentra en la sección 4.2

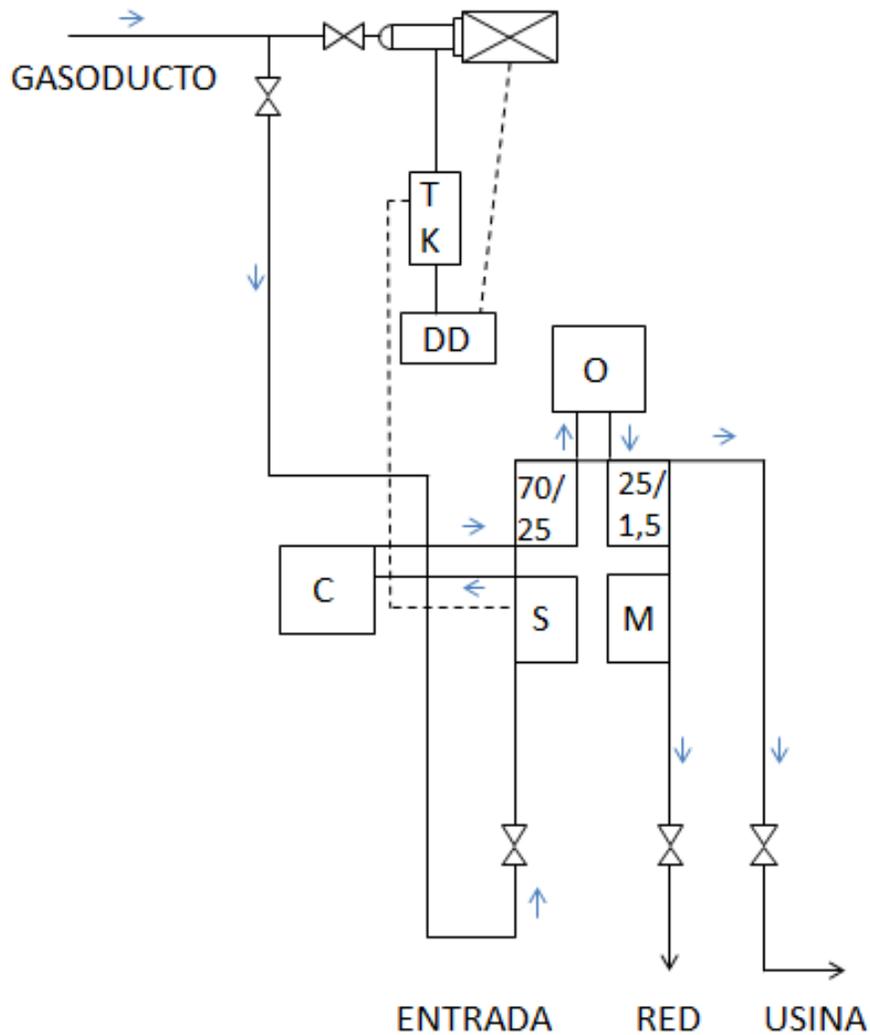


Figura 3 - Esquema simplificado del Layout

A continuación se listan las referencias *Figura 3*. Todos estos equipos se detallarán con mayor detalle en las secciones 5 y 6.

S: Separador

C: Calentador

70/25: Skid de regulación de 70 a 25 Kg/cm²

25/1,5: Skid de regulación de 25 a 1,5 Kg/cm²

M: Medidor

O: Odorizador

TK: Tanque de choque

DD: Depósito de drenajes

4.1. Parámetros operativos

A continuación se listan los parámetros operativos de la estación:

Presión de Entrada:	Máxima 70 Kg/cm ² (Máxima Presión de Operación Admisible - MAPO en adelante).
Presión Regulada:	25/1,5 Kg/cm ²
Caudal de diseño:	Máximo 1ra Etapa 6.000 Sm ³ /h Máximo 2da Etapa 5.000 Sm ³ /h

4.2. Layout y P&ID Estación

Descripción del proceso

El gasoducto ingresa en la estación según lo indicado en el *Anexo 1: Plano Lay Out General*.

Luego de atravesar el cuello de cisne y salir a la superficie, el gas pasa por la válvula de bloqueo de línea e ingresa a la estación mediante la válvula de entrada.

El primer equipo que encuentra el gas en su camino es el separador polvo-líquido, necesario para limpiar las impurezas que se encuentran en el fluido. Dicho separador posee en paralelo un filtro FM (filtro auxiliar detallado en la sección 6.4), el cual se utiliza cuando el separador principal se encuentra bajo mantenimiento.

Una vez filtrado, el gas ingresa al calentador indirecto, encargado de elevar su temperatura (a 35°C aproximadamente) para evitar que el fluido se congele debido a la pérdida de temperatura durante el posterior proceso de regulación de presión.

Luego el fluido ingresa al skid de regulación donde ocurre la primera etapa de regulación hasta una presión regulada de 25 Kg/cm². Al salir, el fluido es odorizado por cuestiones de seguridad.

Una vez odorizado se deriva un caudal de 1000 m³/h hacia una válvula de salida, para posteriormente alimentar a la usina anteriormente mencionada.

El caudal restante ingresa a la segunda etapa de regulación, donde su presión desciende hasta 1,5 Kg/cm², siendo ésta la presión con la que se alimentará a la red.

Una vez atravesada la segunda etapa de regulación, el fluido ingresa al skid de medición, donde se medirá el consumo para la posterior facturación del mismo. El gas atraviesa la válvula de salida donde finaliza la estación e ingresa a la red.

Normativa de seguridad

Las ESRM&O deben diseñarse bajo las normas de seguridad detalladas en *la Sección 3. Estado del Arte.*

Las distancias de seguridad mínimas que deben cumplirse entre los diferentes equipos y límites que componen a la estación se encuentran especificados dentro de la norma *NAG 148*. Estas distancias, junto con los demás criterios detallados en la norma, constituyen la base fundamental del diseño del Lay Out de la estación y la disposición de los equipos.

Las distancias de seguridad correspondientes a la presión de entrada de 70 Kg/cm² se encuentran listadas en la *Figura 4*. Dado que la válvula de entrada a la estación es de $\varnothing 3''$, las distancias correspondientes a utilizar son las resaltadas en color verde.

DISTANCIAS MINIMAS DE SEGURIDAD (en metros)					
PRESION DE ENTRADA (bar)	DESDE	HASTA	Ø CANERÍA ENTRADA (mm)		
			hasta 152	203 a 305	> 355
25 a 70	Planta de regulación y/o medición	Calentador	15	25	30
	Planta de regulación y/o medición Tanque de choque	Límite Instalación Eléctrica del Area Peligrosa (fig. 3.)	7,5	10	15
	Planta de regulación y/o medición	Tanque de choque. Depósito Producto Drenaje	3	3	3
	Pta. regulación y/o medición. Tanque choque-Depósito- Calentador	Pozo de quemado	50	50	50
	Planta regulación y/o medición. Calentador	Línea Municipal-Medianera- Límite Propiedad-Válvula bloqueo aérea	10	15	30
	-	-	-	-	-
	Pozo de quemado	IDEM	50	50	50
	Tanque de choque o purga. Depósito	Calentador-Línea Municipal- Medianera-Límite-Propiedad	20	25	30

Figura 4 - Distancias mínimas de seguridad para una ESRM&O

Las distancias de seguridad detalladas se encuentran indicadas en forma de radios dentro del plano de Lay Out. Es importante destacar que si el equipo calentador se encuentra circundado por pared, la norma permite la reducción de las distancias correspondientes al calentador en un 50%.

Por cuestiones de seguridad las válvulas de entrada y salida de la estación se encuentran ubicadas lo más cerca posible del ingreso a la estación, para que en caso de ocurrir una emergencia se pueda llegar lo más pronto posible a ellas.

Un camino de ripio facilita el acceso vehicular a las plataformas donde se encuentran los distintos equipos.

El terreno de la estación será delimitado con un cerco rural típico de 7 hilos. Dentro del predio, la estación se protegerá con un cerco olímpico de alambre tejido romboidal, tipo industrial, con una altura mínima de 1,80 m.

Por cuestiones de seguridad, las conexiones entre un equipo y otro, siempre que exista la posibilidad, se realizan mediante cañería subterránea. Esto responde a una menor probabilidad de rotura de los caños por parte de personal o vehículos transitando el área.

Todas las cañerías de la ESRM&O serán de calidad ASTM A53 Grado B o superior, sin costura. Acero ASTM A 106 se utilizará para las secciones de cañería utilizadas para fabricar equipos. Las cañerías que se instalen enterradas tendrán revestimiento de polietileno extruido tricapa. Las bridas serán del tipo welding neck (WN) y serie ANSI, según la presión máxima de trabajo indicada para cada caso.

5. Equipos principales

A continuación se detallará el funcionamiento de los principales equipos que constituyen la instalación. Se los considera principales porque son los que modifican las características del gas transportado y funcionan ininterrumpidamente, excepto durante tareas de mantenimiento.

Estos equipos se fabricarán en los talleres de BTU S.A. en función del listado de materiales adjunto en el plano mecánico constructivo. Las memorias de cálculo mecánica determinarán los espesores mínimos requeridos y en función de estos valores se escogerán un diámetro nominal de cañería y el correspondiente schedule, según *Figura 5*.³

DIMENSIONES Y PESOS TEORICOS																			
DIAMETRO NOMINAL	DIAMETRO EXTERIOR	ESPEORES NOMINALES Y PESOS																	
		NUMERO DE "SCHEDULE" (CEDULA)																	
		20		30		40		60		80		100		120		140		160	
PULG	mm	mm	Kg/m	mm	Kg/m	mm	Kg/m	mm	Kg/m	mm	Kg/m	mm	Kg/m	mm	Kg/m	mm	Kg/m	mm	Kg/m
1/8	10,30					1,73	0,36			2,41	0,46								
1/4	13,70					2,24	0,63			3,02	0,89								
3/8	17,10					2,31	0,85			3,20	1,10								
1/2	21,30					2,77	1,26			3,73	1,62							4,78	1,95
3/4	26,70					2,87	1,68			3,91	2,19							5,56	2,89
1	33,40					3,38	2,50			4,55	3,23							6,35	4,23
1 1/4	42,20					3,56	3,38			4,85	4,46							6,35	5,60
1 1/2	48,30					3,68	4,05			5,08	5,40							7,14	7,23
2	60,30					3,91	5,43			5,54	7,47							8,74	11,10
2 1/2	73,00					5,16	8,62			7,01	11,40							9,52	14,90
3	88,90					5,49	11,28			7,62	15,25							11,13	21,30
3 1/2	101,60					5,74	13,56			8,08	18,62								
4	114,30					6,02	16,06			8,56	22,29			11,13	28,25			13,49	33,51
5	141,30					6,55	21,76			9,52	30,92			12,70	40,24			15,88	49,05
6	168,30					7,11	28,23			10,97	42,52			14,27	54,20			18,26	67,47
8	219,10	6,35	33,28	7,04	36,76	8,18	42,49	10,31	53,07	12,70	64,57	15,09	75,79	18,26	90,32	20,62	100,89	23,01	111,18
10	273,00	6,35	41,73	7,80	50,96	9,27	60,24	12,70	81,50	15,09	95,80	18,26	114,50	21,40	132,70	25,40	155,00	23,60	172,10
12	323,80	6,35	49,68	8,38	65,14	10,31	79,70	14,30	109,00	17,48	132,00	21,40	159,50	25,40	186,70	28,60	207,90	33,30	238,50
14	355,60	7,92	68,00	9,52	81,20	11,10	94,30	15,10	126,40	19,00	157,90	23,80	194,50	27,80	224,20	31,80	253,30	35,70	281,40
16	406,40	7,92	77,90	9,52	93,10	12,70	123,20	16,70	160,00	21,40	203,10	26,20	245,30	30,40	286,10	36,50	332,60	40,50	364,80
18	457,20	7,92	87,80	11,11	122,10	14,30	155,90	19,00	205,60	23,80	254,10	29,40	309,50	34,90	363,30	39,70	408,10	45,20	459,10
20	508,00	9,52	117,00	12,70	155,00	15,10	182,90	26,60	247,60	26,20	310,80	32,50	381,10	38,10	441,00	44,40	507,60	60,00	564,00
24	609,60	9,52	140,80	14,30	209,50	17,40	254,70	24,60	354,30	30,90	441,00	38,90	546,70	46,00	639,00	52,40	719,00	59,50	806,50
30	762,00	12,70	234,40	15,90	291,60														

Figura 5 - Tabla de dimensiones de caños comerciales

³ Tabla extraída del catálogo comercial de *Autino Hierros*

5.1. Separador polvo - líquido

Este equipo se utiliza para la separación de los contaminantes en fase líquida y partículas sólidas. Consiste de un recipiente superior y un domo inferior para la recolección de líquidos. Una corte frontal del separador a utilizar puede observarse en la *Figura 6*. En la *Figura 7* se observa una vista de perfil del separador.

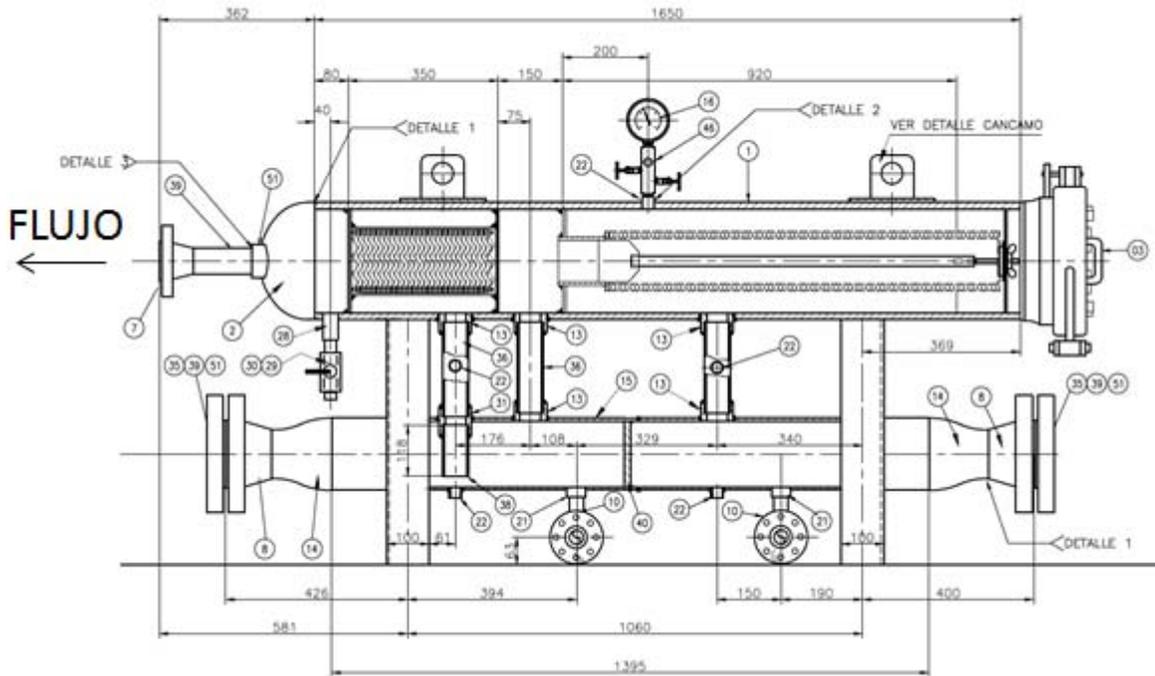


Figura 6 - Vista frontal de un separador polvo-líquido

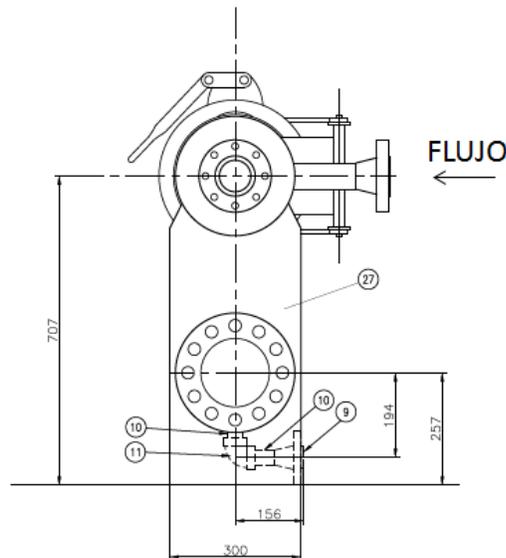


Figura 7 - Vista de perfil de un separador polvo líquido

El flujo de gas ingresa transversalmente al equipo, como se observa en la *Figura 7*, y sale del mismo por el extremo indicado en la *Figura 6*.

El recipiente superior (1) y el domo inferior (15) se encuentran vinculados entre sí mediante tubos verticales (3) que permiten el descenso del líquido por gravedad. El líquido de drenaje se dirigirá al tanque de choque, como se indica en la *Figura 3*, mediante las conexiones observables en el domo inferior (10). El recipiente superior consta de un conjunto de cartuchos de microfibras de vidrio de alta eficiencia (observable en la mitad izquierda del equipo), y un separador o “demister” (observable en la mitad derecha).

El gas ingresante arrastra gotas de líquido de diversos tamaños junto con partículas. Al ingresar al filtro sufre en la cámara de entrada una abrupta disminución de su velocidad. Esto provoca que las gotas de mayor tamaño se desprendan de la corriente gaseosa y sean drenadas al colector inferior.

Luego la corriente gaseosa atraviesa los cartuchos en donde las gotas más pequeñas se unen formando en gotas más grandes. Éstas caen por gravedad o son captadas por un demister.

El separador se fabricará en los talleres propios de la empresa. Para su fabricación se utilizará acero ASTM A106 Gr B, cuya tensión admisible se extrae del mismo catálogo comercial que la *Figura 5*. El espesor del cuerpo de la envolvente y del cabezal se determinará en función de las tensiones estructurales.

Dimensionamiento

El dimensionamiento del separador depende del caudal y la presión operativa. El diámetro del separador se obtiene a partir de la tabla empírica de ex Gas del Estado que se muestra en la *Figura 8*. Para los parámetros operativos mencionados, se obtiene un diámetro $\varnothing = 10''$.

De la parte superior de dicha tabla se obtiene la cantidad de elementos filtrantes a utilizar, correspondiendo en este caso utilizar un único elemento filtrante.

Una vez escogido el diámetro se procede a verificar la resistencia mecánica del cuerpo envolvente del separador. Para esto se utiliza el código ASME VIII div. I parte UG – 27. Se calculan los espesores requeridos según la tensión circunferencial y la longitudinal a partir de suponer un caño de $\varnothing = 10''$ ($\varnothing_e=273\text{mm}$) y sch 60 (espesor 12,7 mm). Si el espesor mínimo necesario calculado resulta menor que el escogido, se concluye que el sch escogido es adecuado.

Tensión circunferencial

$$t_m = \frac{P * R}{S * E - 0,6 * P} = \frac{70 * 123,8}{1203 * 1 - 0,6 * 70} = 7,46 \text{ mm}$$

Donde:

t_m : Espesor de cálculo [mm]

P : Máxima presión interna de trabajo [kg/cm²]

R : Radio interior del tubo [mm]

S : Tensión admisible del material [kg/cm²]

E : Eficiencia de junta (100% debido al radiografiado de la junta)

Tensión longitudinal

$$t_m = \frac{P * R}{2 * S * E + 0,4 * P} = \frac{70 * 123,8}{2 * 1203 * 1 + 0,4 * 70} = 3,56 \text{ mm}$$

Una vez determinado el espesor de cálculo se suma el sobreespesor por corrosión sugerido por la norma y resulta:

Espesor de cálculo: 7,46 mm

Sobreespesor por corrosión: 1,60 mm

Espesor mínimo requerido: 9,06 mm

Espesor adoptado: 12,70 mm (sch 60)

Para calcular las sollicitaciones del cabezal (casquete semielíptico que se encuentra en el extremo izquierdo según *Figura 6*) se utiliza el código ASME VIII div. I parte UG – 32 y resulta:

$$t_m = \frac{P * d}{2 * S * E - 0,2 * P} = \frac{70 * 247,6}{2 * 1203 * 1 - 0,2 * 70} = 7,25 \text{ mm}$$

Espesor de cálculo: 7,25 mm

Sobreespesor por corrosión: 1,60 mm

Espesor mínimo requerido: 8,85 mm

Espesor adoptado: 12,70 mm

Los espesores adoptados finalmente suelen superar ampliamente los valores mínimos requeridos. Esto se debe a que los equipos a instalar en todas las estaciones del proyecto son de iguales dimensiones para facilitar la construcción e instalación de los mismos, por lo tanto se adopta un espesor estándar para todos los equipos, y se verifica uno a uno que el espesor requerido sea menor que el adoptado. Esto se repetirá a lo largo del dimensionamiento del resto de los equipos que componen la estación.

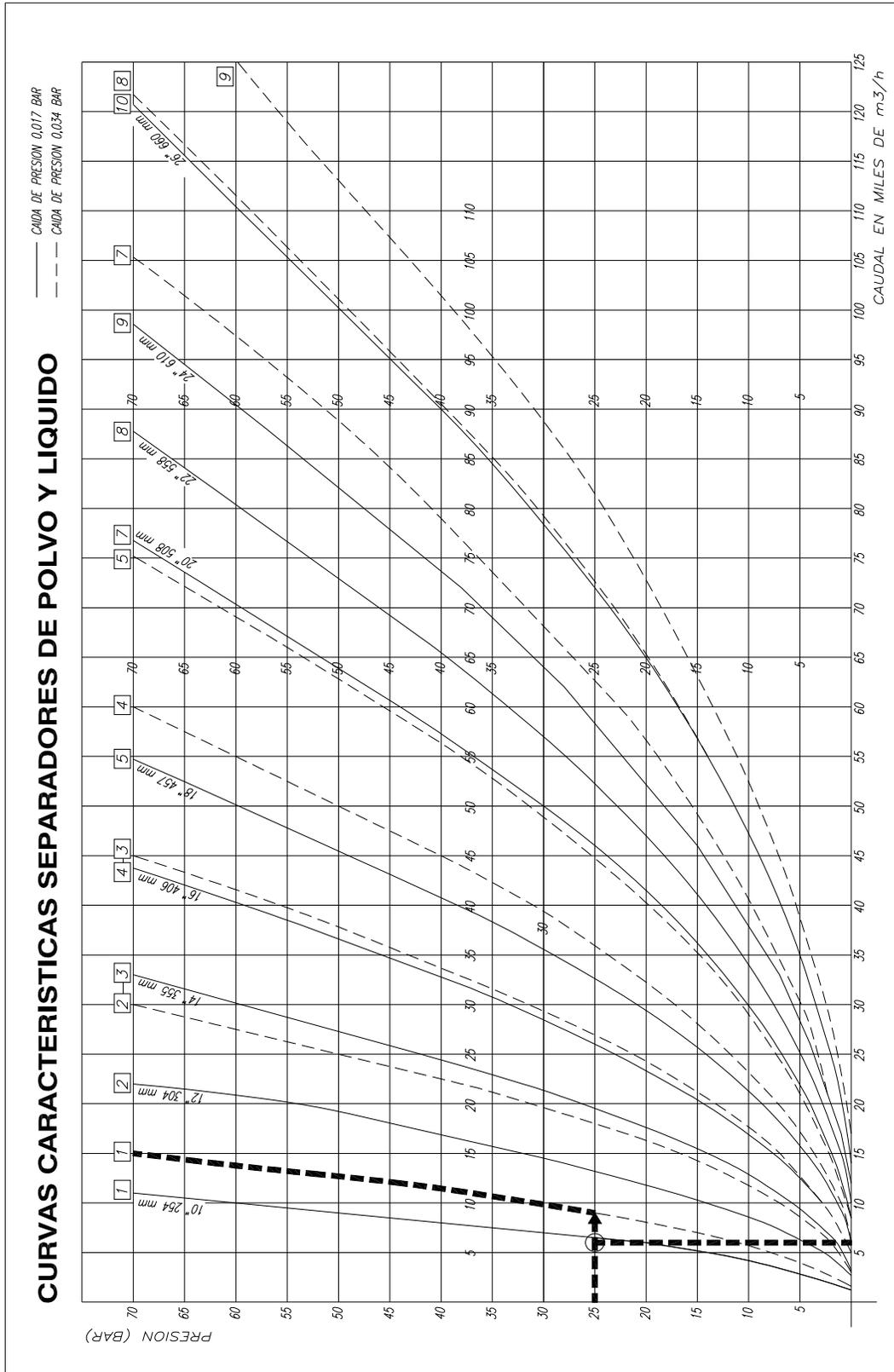


Figura 8 - Curva dimensional para separador polvo-líquido

5.2. Calentador Indirecto

El calentador indirecto es un intercambiador de calor encargado de elevar la temperatura del gas para evitar que el mismo se congele en el posterior proceso de reducción de presión. El término “indirecto” indica que el tubo de fuego se encuentra rodeado de un fluido intermediario, en este caso agua, que a la vez cede energía al gas que se calienta.

En la *Figura 9* se observa la vista en planta de un calentador, y en la *Figura 10* una vista en elevación. El mismo consiste en una envolvente cilíndrica (1) que contiene el agua con la que se calienta el gas. El equipo posee un tanque de reposición de dicha agua (10). Por el interior del calentador circula una serpentina, por cuyo interior circula el gas. Dentro del calentador se encuentra también el tubo de fuego (36), encargado de elevar la temperatura del agua.

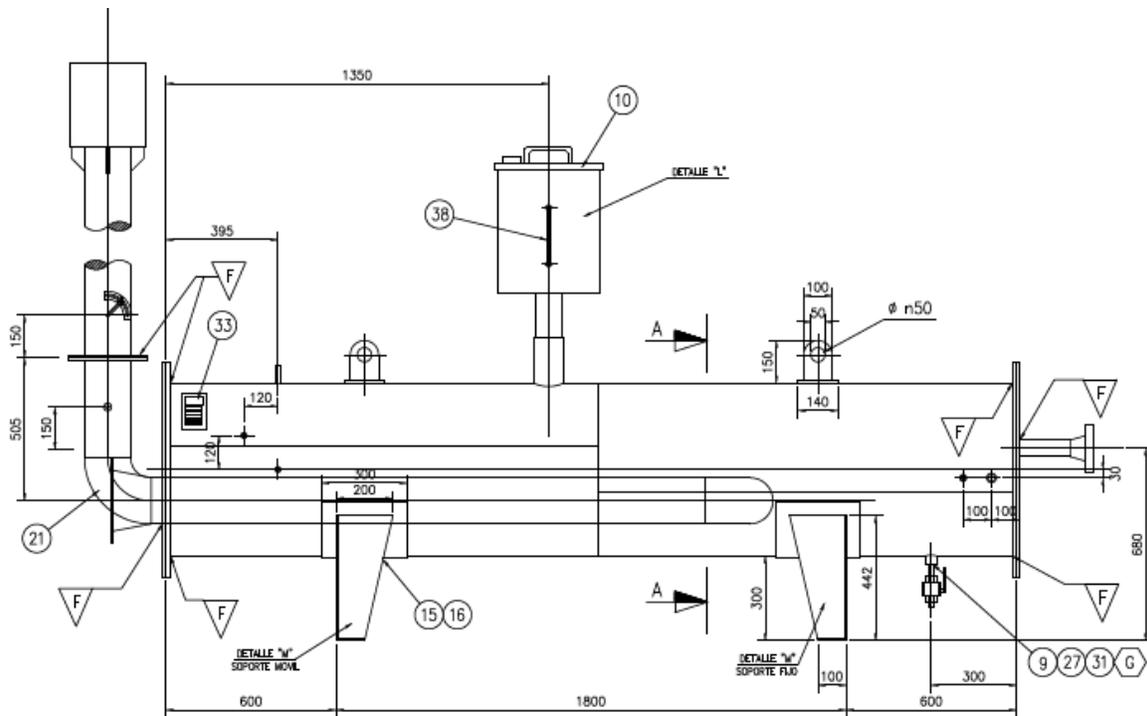


Figura 9 - Vista en planta del calentador indirecto

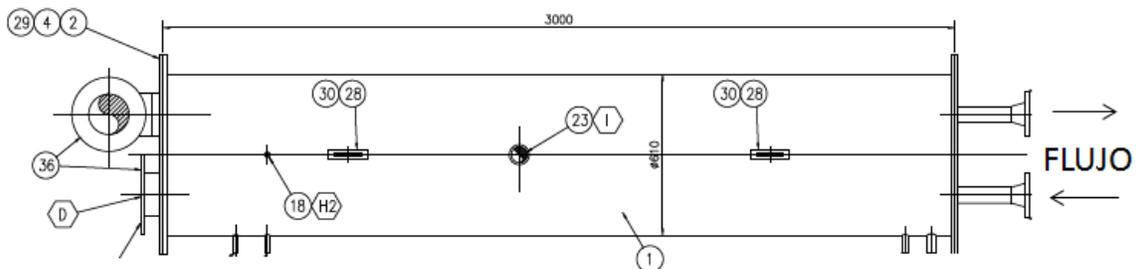


Figura 10 - Vista en elevación del calentador indirecto

Cálculo térmico

El dimensionamiento térmico del calentador de gas se encuentra dentro del *Anexo 2: Memoria de cálculo térmica – Calentador 500.000 BTU*. En el mismo se detalla la capacidad calorífica del calentador en función de los parámetros de operación de la planta. A continuación se exponen los resultados de dicho análisis:

Capacidad $Q = 500.000 \text{ BTU/h}$

Serpentina $\phi = 2''$; $L = 22,12 \text{ m}$

Tubo de fuego $\phi = 8''$; $L = 5,64 \text{ m}$

Quemador *EQA 93 – 2 Inyector 3,5mm*

Dimensionamiento

La memoria de cálculo mecánica tiene por objetivo verificar los espesores de la serpentina, cuerpo y tapas que componen el calentador. A continuación se detallan las normas y cálculos utilizados para cada uno.

Serpentina

La serpentina del calentador se diseña según la norma *API SPEC 12K* debido a que la misma detalla específicamente el dimensionamiento de este elemento para los calentadores indirectos. Se parte de suponer un diámetro y espesor de cañería conocidos, y se verifica que la presión de trabajo máxima admisible sea mayor que la MAPO.

Se comienza asumiendo un caño de $\phi = 2''$, sch 80. Las unidades utilizadas corresponden al sistema anglosajón debido a que la norma API es americana. Se tiene entonces, según la norma:

$$P = \frac{2 * S * (t_m - C)}{D - 2 * Y * (t_m - C)} = \frac{2 * 17110 * (0,191 - 0,063)}{2,374 - 2 * 0,4 * (0,191 - 0,063)} = 1924 \text{ psi}$$

Donde:

P : Máxima presión interna de trabajo admisible [psi]

S : Tensión admisible del material [psi]

T : Espesor del caño [pulg]

t_m : Espesor mínimo del caño [pulg] $t_m = 0,875 T$

C : Margen de corrosión

D : Diámetro exterior del caño [pulg]

Y : Coeficiente de 0,4 cuando $T < D/6$. Si $T > D/6$, $Y = d/(d+D)$

Como la máxima presión interna de trabajo admisible resulta en 1924 psi, y la MAPO es de $70 \text{ kg/cm}^2 = 995 \text{ psi}$, se concluye que el diámetro de cañería y espesor adoptado son correctos.

Espesor adoptado: 5,54 mm (sch 80)

Cuerpo (envolvente cilíndrica)

Para dimensionar el cuerpo se utiliza el código ASME VIII div. I parte UG - 27. En este caso se parte de suponer un cuerpo envolvente de $\varnothing = 24''$, sch 20, y se verificará que el espesor mínimo necesario es menor que el espesor adoptado. Es importante destacar que la envolvente soporta la presión interna ejercida por el agua contenida en el calentador, la cual se ajusta según parámetros operativos del equipo en un valor de $0,5 \text{ kg/cm}^2$. Se tiene entonces:

$$t_m = \frac{P * R}{S * E - 0.6 * P} = \frac{0,5 * 295,28}{1203 * 1 - 0,6 * 0,5} = 0,12 \text{ mm}$$

Donde:

t_m : Espesor mínimo [mm]

P : Presión de diseño [kg/cm^2]

R : Radio interior [mm]

S : Máxima tensión admisible [kg/cm^2]

E : Eficiencia de la junta (100% debido al radiografiado de la junta)

Espesor de cálculo: 0,12 mm

Sopreespesor por corrosión: 1,60 mm

Espesor mínimo requerido: 1,72 mm

<p>Espesor adoptado: 9,52 mm (sch 20)</p>

Tapas

Para dimensionar las tapas del calentador se utiliza el código ASME VIII div. I parte UG - 34. Según esta sección se tiene:

$$t_m = d \sqrt{\frac{C * P}{S * E}} = 660 \sqrt{\frac{0,2 * 0,5}{1125 * 1}} = 6,22 \text{ mm}$$

Donde:

t_m : Espesor mínimo [mm]

d : Diámetro del círculo de bulones [mm]

C : Constante

P : Presión de diseño [kg/cm²]

S : Máxima tensión admisible [kg/cm²]

E : Eficiencia de la junta (100% debido al radiografiado de la junta)

Espesor de cálculo: 6,02 mm

Sopreespesor por corrosión: 1,60 mm

Espesor mínimo requerido: 7,62 mm

<p>Espesor adoptado: 12,70 mm</p>

Al igual que con el separador, se verifica que el espesor adoptado es bastante mayor que el requerido. Esto se debe a que el calentador de 500.000 BTU también se fabricará en otras estaciones anteriores. Es importante recordar que la estación Los Antiguos es la última estación del gasoducto, por ende es la que menores requerimientos posee.

5.3. Skid de Regulación y Medición

El skid se encuentra dividido en tres etapas: la primera etapa de regulación, la segunda etapa de regulación y la etapa de medición.

Cada uno de estas etapas consiste en un conjunto autoportante de válvulas reguladoras y monitoras de presión, junto con otros accesorios, montados sobre una estructura metálica.

Dado que las distintas secciones del skid trabajarán a presiones diferentes, las válvulas y demás elementos que acompañen cada ramal deberán ser capaces de soportar las presiones de trabajo requeridas. Por lo tanto, para poder definir las válvulas a utilizar será necesario especificar la serie a utilizar, en función de la presión y temperatura del gas dentro de cada skid.

En la *Figura 11*⁴ se puede observar la tabla de series correspondientes para el gas a una temperatura hasta 40°C según las define la norma ANSI-B16.5. Al momento de comprar un accesorio para cada ramal, será necesario comprar el accesorio acorde a la serie según la presión a la cual trabajará.

ANSI Class Rating [#]	Presión Nominal PN
150	20
300	50
400	64
600	100
900	150
1500	250
2500	420

Figura 11 - Tabla de series según ANSI-B16.5. Presiones nominales indicadas en kg/cm²

Es importante destacar que, por pedido del cliente, todas las válvulas a instalar deberán ser adquiridas al proveedor INDUSTRIAS EPTA S.R.L. Este pedido se origina en el hecho de que en todas las instalaciones de superficie que opera nuestro cliente existen válvulas de este proveedor, por lo que los operarios designados ya se encuentran acostumbrados a operar dichos equipos.

⁴ Tabla extraída del sitio web www.valvias.com

En función de los datos operativos de la estación suministrados al proveedor, él mismo se encarga de informar qué diámetros de válvulas y modelos son los adecuados para la necesidad presentada.

Skid de Primera Regulación

Ambos skid de regulación poseen un ramal principal y un ramal secundario idénticos. En caso de realizar tareas de mantenimiento, se aísla el ramal principal y se utiliza el secundario.

El skid de la primera regulación, que puede observarse en la *Figura 12*, regula de 70 Kg/cm² a 25 Kg/cm². El gas ingresa por la brida indicada en el extremo inferior izquierdo de la *Figura 12*, y sale por la brida de la derecha. El sentido de flujo se visualiza con flechas. Cuenta con los siguientes elementos, presentados en el sentido de flujo:

- Válvulas esféricas $\varnothing 3''$ #600: Colocadas al comienzo y al final del ramal, utilizadas para aislar el ramal en tareas de mantenimiento. Se operan manualmente a palanca.
- Válvula reductora de presión – “Reguladora monitora”: encargada de monitorear la regulación de presión efectuada por la válvula reguladora activa.
- Válvula reductora de presión – “Reguladora activa”: encargada de realizar la regulación de la presión del gas.
- Válvula de seguridad por sobrepresión: para 10% del caudal.

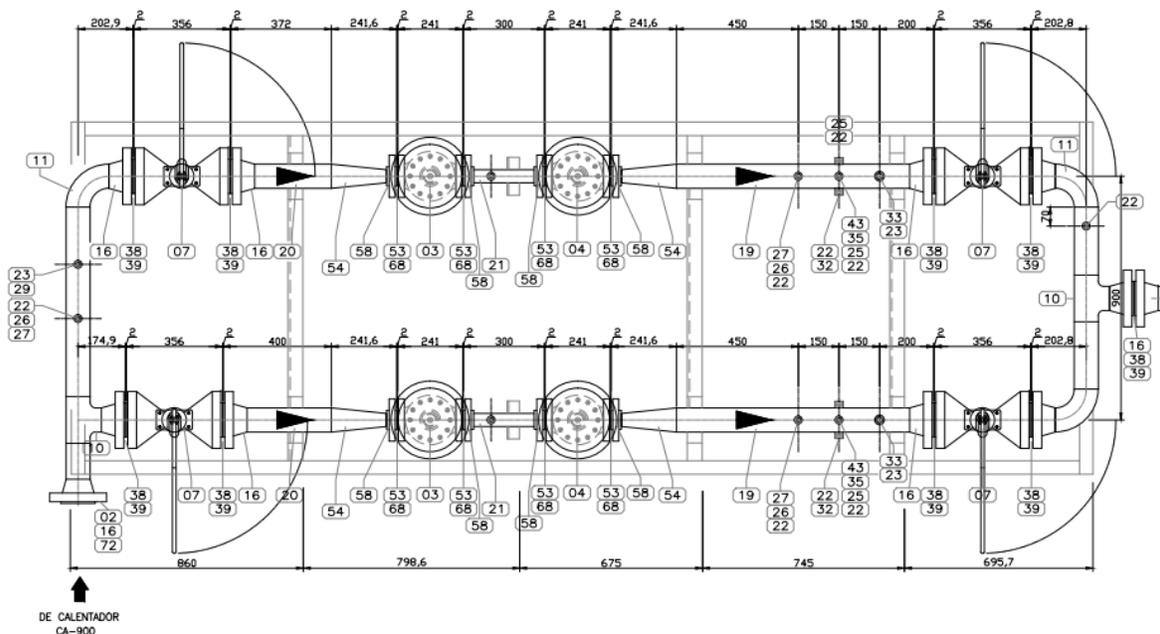


Figura 12 - Skid de primera regulación

A continuación se detalla la información técnica de los modelos de válvulas reguladoras monitora y activa:

Válvula Reguladora Monitora Los Antiguos 1° Etapa

Válvula reductora de presión con bloqueo incorporado marca EPTA modelo RG2050C, diámetro 2", pasaje 2 5/16", extremos bridados serie ANSI 600 RF, cuerpo de acero al carbono ASTM A216 WCB, internos de acero inoxidable 416 endurecidos, jaula apertura rápida, piloto modelo P6357S, Pre-Reductor modelo PR6754 y filtro modelo F597, Actuador N°30, condición de falla cierra. Bloqueo por alta presión de rearme manual a palanca con piloto modelo BR. Condición de servicio: Fluido: Gas Natural; Temperatura: 20°C; Pe: 28/70 kg/cm²; Pr: 25 kg/cm²; Caudal 6000 Sm³/h.

Válvula Reguladora Activa Los Antiguos 1° Etapa

Válvula reductora de presión modelo VD277, diámetro 2", extremos bridados serie ANSI 600 RF, cuerpo de acero al carbono ASTM A216 WCB, piloto modelo P67S/2, Pre-Reductor modelo PR6754, restrictor variable modelo RV2 y filtro modelo F250. Condición de falla abierta. Condición de servicio: Fluido: Gas Natural; Temperatura: 20°C; Pe: 28/70 kg/cm²; Pr: 25 kg/cm²; Caudal 6000 Sm³/h.

Entre el skid de primera regulación y el de segunda regulación existen tres derivaciones de caños de ø1": un caño que alimenta de gas al calentador para poder mantener encendido el piloto para calentar el agua con la que se eleva la temperatura del gas y un caño de ida y otro de regreso del odorizador. La salida a la usina se encuentra dentro del skid de segunda regulación.

Skid de segunda regulación

El skid de la segunda regulación, que puede observarse en la *Figura 13*, regula de 25 Kg/cm² a 1,5 Kg/cm². El gas ingresa por la brida superior indicada en el extremo izquierdo de la *Figura 13*, y sale por la brida de la sección derecha inferior. El sentido de flujo se visualiza con flechas. La salida a la usina se realiza a través de la brida inferior del extremo izquierdo.

El skid de segunda regulación cuenta con los siguientes elementos, presentados en el sentido de flujo:

- Válvulas esféricas ø3" #300: Colocadas al comienzo del ramal, utilizada para aislar el ramal en tareas de mantenimiento. Se operan manualmente a palanca.
- Válvula reductora de presión – Reguladora monitora
- Válvula reductora de presión – Reguladora activa

- Válvula de seguridad por sobrepresión: para 10% del caudal.
- Válvulas esféricas $\varnothing 8''$ #300: Colocada al final del ramal, utilizada para aislar el ramal en tareas de mantenimiento. Posee volante y caja de engranajes para su manipulación ya que debido a su diámetro mayor es más difícil de manipular manualmente.

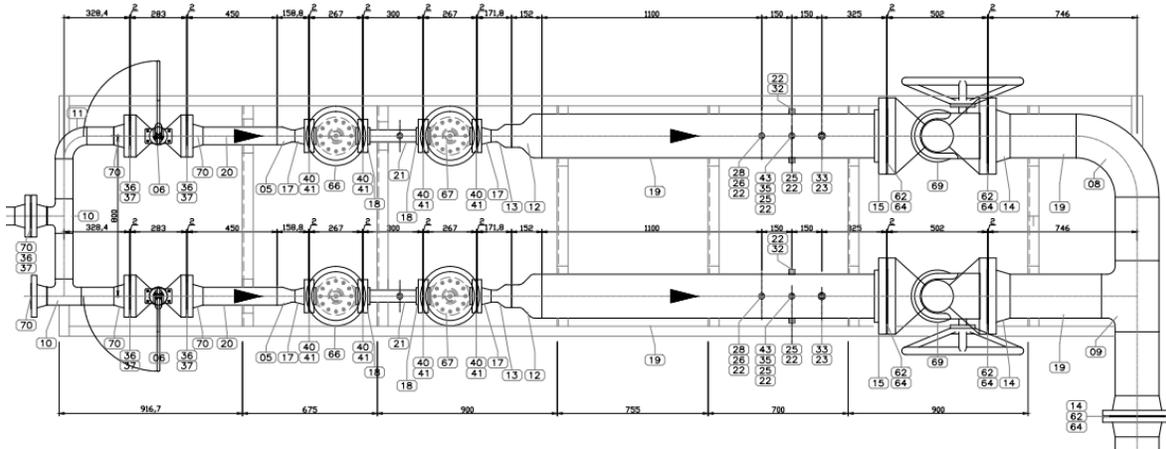


Figura 13 - Skid de segunda regulación

A continuación se detalla la información técnica de los modelos de válvulas reguladoras monitora y activa:

Válvula Reguladora Monitora Los Antiguos 2° Etapa

Válvula reductora de presión con bloqueo incorporado marca EPTA modelo RG2050C, diámetro 2 1/2", pasaje 2 7/8", extremos bridados serie ANSI 300 RF, cuerpo de acero al carbono ASTM A216 WCB, internos de acero inoxidable 416 endurecidos, jaula apertura rápida, piloto modelo P6357S, Pre-Reductor modelo PR6754 y filtro modelo F597, Actuador N°30, condición de falla cierra. Bloqueo por alta presión de rearme manual a palanca con piloto modelo BR. Condición de servicio: Fluido: Gas Natural; Temperatura: 20°C; Pe: 25 kg/cm²; Pr: 1,5 kg/cm²; Caudal 5000m³/h.

Válvula Reguladora Activo Los Antiguos 2° Etapa

Válvula reductora de presión modelo VD277, diámetro 2 1/2", extremos bridados serie ANSI 300 RF, cuerpo de acero al carbono ASTM A216 WCB, piloto modelo P67S/2, Pre-Reductor modelo PR6754, restrictor variable modelo RV2 y filtro modelo F250. Condición de falla abierta. Condición de servicio: Fluido: Gas Natural; Temperatura: 20°C; Pe: 25 kg/cm²; Pr: 1,5 kg/cm²; Caudal 5000m³/h.

Skid de medición

La etapa de medición es la que posee diámetro mayor, ya que el gas se encuentra expandido a la presión deseada y sólo resta medir su consumo para la posterior facturación. Al igual que las dos etapas anteriores, está constituido por dos ramas en paralelo. El skid de medición puede apreciarse en la *Figura 14*. El gas ingresa por el extremo derecho superior de la *Figura 14*, y sale a través del extremo izquierdo. Las flechas indican el sentido del flujo.

La rama principal (rama inferior de la *Figura 14*), de diámetro $\varnothing = 8''$, cuenta con los siguientes elementos, presentados en el sentido de flujo:

- Válvulas esféricas $\varnothing 8''$ #150: Colocadas al comienzo y al final del ramal, utilizadas para aislar el ramal en tareas de mantenimiento. Poseen volante y caja de engranajes para su manipulación ya que debido a su diámetro mayor son más difíciles de manipular manualmente.
- Filtro FM $\varnothing 8''$ #150: Se utiliza como último elemento de protección anterior al medición para el cuidado y preservación del mismo.
- Enderezador de vena: Utilizados para disminuir la turbulencia del gas para obtener una medición más precisa y proteger el medidor. Consiste en un haz de tubos de menor diámetro dentro de un caño de $\varnothing 8''$ como el ramal.
- Medidor a turbina $\varnothing 8''$ #150: Suministrado por el cliente, utilizado para la medición del consumo.

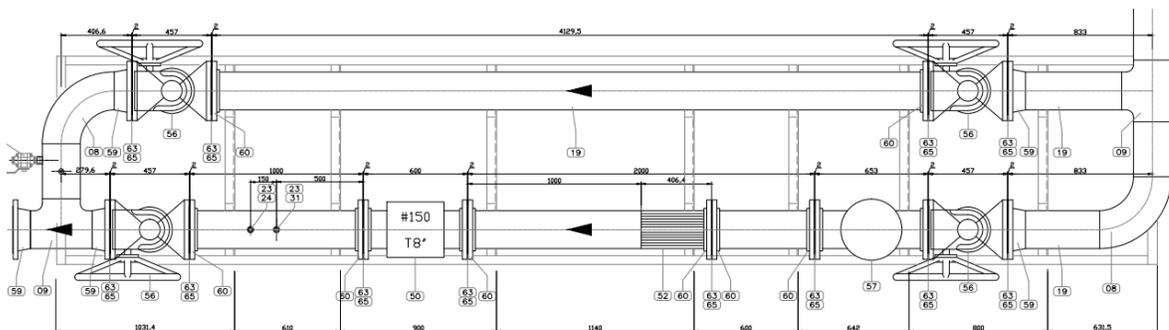


Figura 14 - Skid de medición

Por disposición del cliente, la segunda rama del skid de medición es simplemente un by pass sin medidor. En caso de ser necesario aislar el ramal principal, se suministra el gas momentáneamente sin medición de consumo.

6. Equipos Secundarios

6.1. Trampa de Scrapper

Las trampas de scrapper son equipos utilizados principalmente para introducir y remover herramientas de limpieza dentro de la tubería con el fin de darle mantenimiento.

La herramienta utilizada para limpieza se conoce como “scrapper” o “pig”, posee forma de cilindro o bala, se encuentra construido por espuma de uretano de distintas densidades y tipos de recubrimiento externo. Una vista en elevación de la trampa de scrapper mencionada se puede observar en la *Figura 15*.

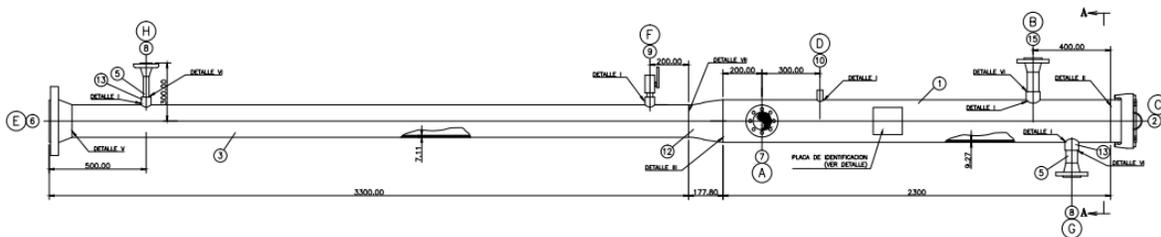


Figura 15 - Vista en elevación de una trampa de scrapper

Los pig se colocan dentro de una trampa de scrapper impulsora mediante una tapa de cierre rápido, se impulsan con el gas a lo largo del gasoducto, y se reciben en la trampa receptora dentro de la siguiente ESRM&O. La estación Los Antiguos, al ser la estación final del gasoducto, posee únicamente una trampa de scrapper, la receptora.

Como se puede observar en la *Figura 15*, la trampa se compone de dos secciones de caño de diferentes diámetros unidos por una reducción concéntrica. La sección izquierda posee un diámetro $\phi=6''$, ya que es el diámetro con el que el gasoducto llega a la estación. La sección derecha posee un diámetro mayor, $\phi=10''$, para poder operar con comodidad el pig al momento de abrir la trampa de cierre rápido para retirarlo. El fluido ingresa por la sección E (extremo izquierdo) y sale por la sección A (perpendicular a la hoja).

Es importante destacar que al abrir la tapa de cierre rápido luego de una tarea de mantenimiento, saldrá el barro que se acumuló a lo largo de la línea de gas, por lo que debajo de la tapa se encuentra una cámara de barro, con conexión mediante un caño de PVC al tanque de recolección de líquidos.

Dichas trampas poseen una válvula de entrada, que en condiciones normales de funcionamiento del gasoducto se encuentra cerrada, ya que la trampa se utiliza únicamente con fines de mantenimiento.

Procedimiento para utilización

En la *Figura 16*⁵ se puede observar un esquema simplificado de una trampa de scrapper receptora.

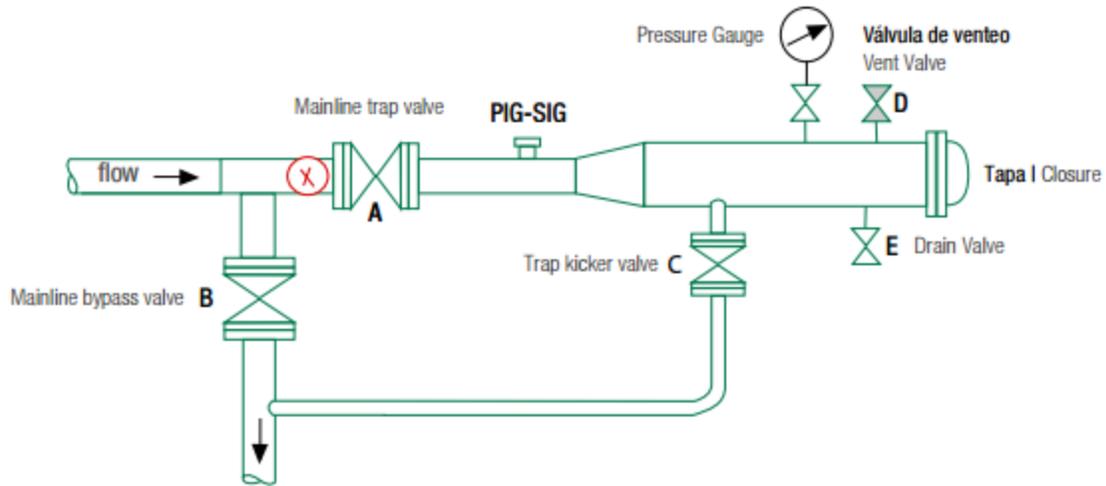


Figura 16 - Esquema de operación de trampa de scrapper

A continuación se detalla el procedimiento de operación para recibir al pig y operar la trampa.

1. Purgar la trampa, cerrar la válvula E y abrir lentamente la válvula C.
2. Después de purgada, comenzar a ecualizar la presión en la trampa cerrando la válvula D con la válvula C abierta.
3. Con la válvula C todavía abierta, abrir la válvula A. La trampa está ahora en condiciones de recibir el PIG.
4. Cuando arribe la herramienta, está se detendrá entre la válvula A y la Te de entrada a la trampa.
5. Parcialmente cerrar la válvula B. Esto forzará el PIG a introducirse en la trampa incrementando el flujo de gas a través de la válvula C.
6. Después que el PIG esté en la trampa, indicado por la señal del "PIG-SIG", abrir la válvula B y cerrar las válvulas A y C.
7. Abrir las válvulas D y E y ventear la trampa hasta la presión atmosférica.
8. Después que la trampa esté venteada (0 barg) y drenada con las válvulas D y E abiertas, abrir la tapa de cierre rápido y sacar el PIG.
9. Cerrar y asegurar la tapa de cierre rápido.

⁵ Imagen y procedimiento extraídos del catálogo comercial de *Tormene Americana*

Dimensionamiento

Los espesores de pared de las trampas de scrapper se diseñan según el código ASME VIII Div. I, apartado UG-27 “Espesores en un cuerpo bajo presión interna”. Se calculan los esfuerzos circunferenciales y longitudinales, se observa cuál de ambos gobierna y se verifica que el material y espesor utilizados sean aptos.

Caño 10”

Tensión circunferencial

$$t_m = \frac{P * R}{S * E - 0.6 * P} = \frac{70 * 123,8}{1203 * 1 - 0,6 * 70} = 7,46 \text{ mm}$$

Donde:

P: Máxima presión interna de trabajo [kg/cm²]

R: Radio interior del tubo [mm]

S: Tensión admisible del material [kg/cm²]

E: Eficiencia de junta (100% debido al radiografiado de la junta)

Tensión longitudinal

$$t_m = \frac{P * R}{2 * S * E + 0,4 * P} = \frac{70 * 123,8}{2 * 1203 * 1 + 0,4 * 70} = 3,56 \text{ mm}$$

Espesor de cálculo: 7,46 mm

Sobreespesor por corrosión: 1,60 mm

Espesor mínimo requerido: 9,06 mm

Espesor adoptado: 12,70 mm (Sch 80)

Caño 6”

Tensión circunferencial

$$t_m = \frac{P * R}{S * E - 0.6 * P} = \frac{70 * 73,18}{1203 * 1 - 0,6 * 70} = 4,41 \text{ mm}$$

Tensión longitudinal

$$t_m = \frac{P * R}{2 * S * E + 0,4 * P} = \frac{70 * 73,18}{2 * 1203 * 1 + 0,4 * 70} = 2,1 \text{ mm}$$

Espesor de cálculo: 4,41 mm

Sobreespesor por corrosión: 1,60 mm

Espesor mínimo requerido: 6,01 mm

Espesor adoptado: 10,97 mm (Sch 80)

6.2. Tanque de Purga

El tanque de purga es un equipo que se destina a recepcionar el drenaje del separador, por medio de la reducción de la energía cinética de las partículas que contiene el mismo. En la *Figura 17* se puede observar una vista frontal del tanque de purga a utilizar.

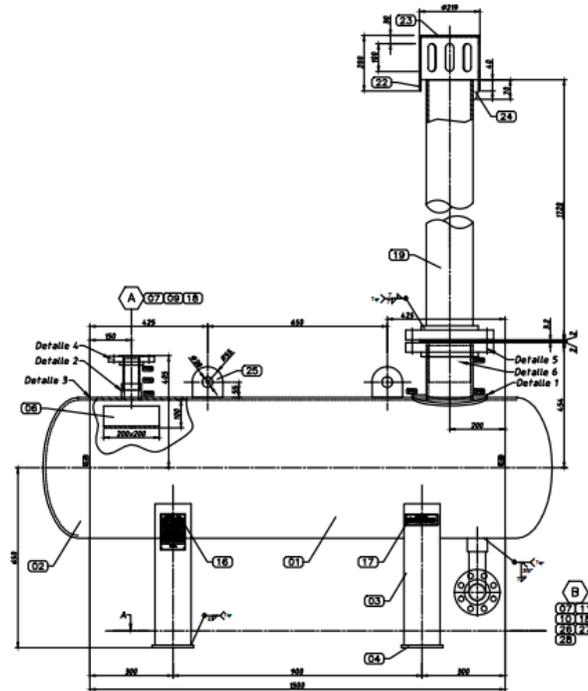


Figura 17 - Vista frontal del tanque de purga

6.3. Tanque recolector de líquidos

El tanque recolector de líquidos es un tanque de plástico reforzado PRFV, de dimensiones estándares, que se ubica enterrado en un recinto cerrado con venteo según lo indica la norma, según se puede observar en la *Figura 18*. A él convergen dos corrientes de residuos: por un lado un caño de PVC proveniente de la colectora de barros de la trampa de scrapper, y también el caño proveniente del tanque de purga, con las partículas sólidas ya desaceleradas. Por lo tanto, para este recipiente no hace falta entregar una memoria de cálculo mecánica.

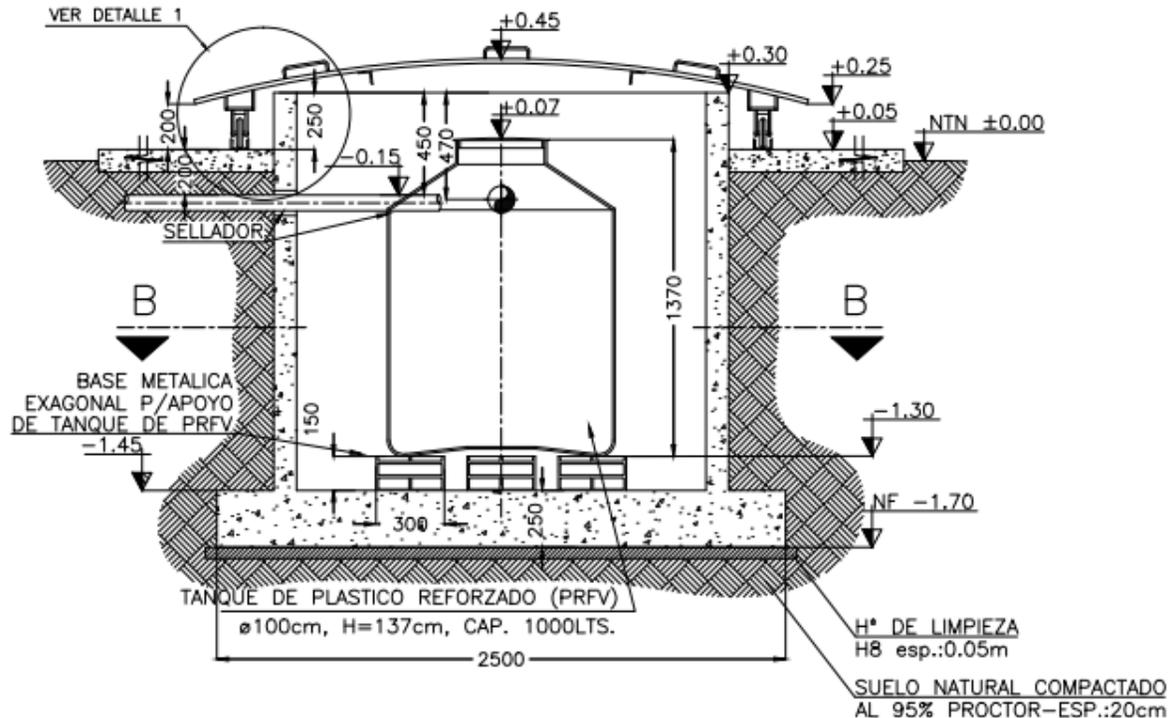


Figura 18 - Tanque recolector de líquidos

El desagote del equipo se hará durante tareas de mantenimiento. Un camión cisterna visitará la estación con una frecuencia determinada y se encargará de vaciar el contenido del mismo mediante una manguera.

6.4. Filtros FM

Los filtros FM, también conocidos como “filtros secos”, son filtros de tamaño reducido que se utilizan para la eliminación de partículas sólidas y también líquidos, aunque estos en menor proporción.

Dentro de la ESRM&O Los Antiguos existen dos filtros FM. El primero, de $\varnothing = 3''$, se encuentra en paralelo al separador de polvo-líquido, y se utiliza cuando el mismo se encuentra fuera de servicio por tareas de mantenimiento u otros motivos. El segundo filtro FM, de $\varnothing = 8''$, se encuentra dentro el skid de medición, previo al medidor de consumo, y se utiliza para proteger dicho medidor de partículas sólidas o líquidos que no hayan sido filtrados por el separador.

Estos filtros no serán fabricados por BTU S.A., si no que serán comprados, por lo que no corre por cuenta de BTU S.A. entregar alguna memoria de cálculo correspondiente a los mismos.

El medio filtrante que poseen estos filtros se encuentra constituido por papel celulósico plisado, impregnado con resina fenólica, o con malla de acero inoxidable. En la *Figura 19* se puede observar un corte de un filtro FM.

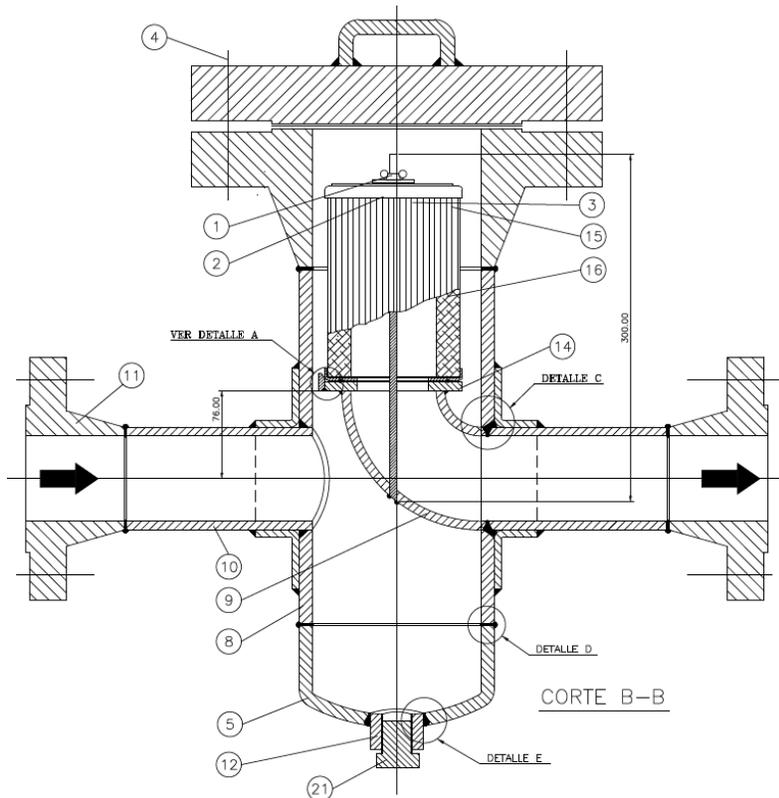


Figura 19 - Corte de un filtro FM

7. Protección anticorrosiva

Toda estructura de acero, aérea o enterrada, debe ser protegida contra la corrosión. Tanto para las superficies aéreas como para las enterradas se utiliza lo detallado en la especificación técnica SCE-PC-511-0003, basada en la norma ISO 8501-1 y norma NAG 108.

Superficies aéreas

Primero se realiza la preparación superficial de la cañería. La superficie a proteger deberá ser preparada mediante un arenado comercial (según norma SSPC SP 6) hasta un grado Sa 2½ de la norma SIS SS 05 59 00. El grado Sa 2½ se trata de un arenado-granallado muy minucioso donde las capas de laminación, óxido y partículas extrañas se quitan de tal manera que los restos sólo aparezcan como ligeras manchas o rayas.

Una vez preparada la superficie, se procede a la aplicación del siguiente esquema:

- Fondo: Pintura epoxi autoimprimante de alto contenido de sólidos, secado rápido, espesor 250 micrones. La misma se aplica con un soplete convencional o airless.
- Terminación: Esmalte de poliuretano de alto contenido de sólidos, espesor 80 micrones. Se aplica con un soplete convencional o airless.

Todas las instalaciones se pintarán con los colores indicados en la *Figura 20* y *Figura 21*, en función del producto que transportan. Para los colores de seguridad y las formas y colores de las señales de seguridad se seguirán los lineamientos de la norma IRAM 10005.

PRODUCTO TRANSPORTADO	COLOR DE LAS CAÑERÍAS
Gas natural	Amarillo (05-1-020)
Gas licuado	Amarillo (05-1-020)
Gasoil, diesel-oil, fuel-oil, aceites lubricantes	Castaño (07-1-120)
Anticongelantes (metanol glicol, etc.)	Crema (04-1-110)
Agua fría	Verde (01-1-120)
Agua caliente	Verde (01-1-120) con franjas naranja (02-1-040)
Agua para incendio	Rojo (03-1-080)
Vapor de agua	Naranja (02-1-040)
Aire comprimido	Azul (08-1-070)
Electricidad	Negro (11-1-070)
Ventoeo de gas	Amarillo (05-1-020) con franjas naranja (02-1-040)
Ventoeo de aire	Azul (08-1-070) con franjas naranja (02-1-040)

Figura 20 - Color de las cañerías en función del producto transportado

ELEMENTO	COLOR
Cañerías, válvulas de bloqueo, filtros	Amarillo (05-1-020)
Tanques de almacenamiento GLP o GNP	Blanco (11-1-010)
Válvulas reguladoras, pilotos, reguladores auxiliares, cuerpo y actuador de válvulas de control	Amarillo (05-1-020)
Válvulas de seguridad por alivio y/o venteo	Naranja (02-1-040)
Caños de venteo de gas	Amarillo (05-1-020) Con franjas naranja (02-1-040)
Controladores neumáticos	Azul (08-1-070)
Bridas aislantes y Juntas Aislante Monolíticas	Rojo (03-1-050)
Elementos contra incendio, cabinas metálicas para matafuegos	Rojo (03-1-050)
Odorizadores, separadores de polvo, tanques de choque, separadores de líquido (incluye soportes)	Blanco (11-1-010)
Palancas y volantes de válvulas de bloqueo	Negro (11-1-070)
Soportes metálicos, bases metálicas, escaleras	Verde (01-1-160)
Tapas de cámaras, puertas de estaciones reguladoras de presión	Gris (09-1-020)
Calentadores indirectos, calderas, hornos, chimeneas	Aluminio (11-1-050)
Flechas indicadoras de circulación de fluido	Negro (11-1-070)
Niveles	Negro (11-1-070)
Caños de electricidad	Negro (11-1-070)
Paredes internas de cámaras, losas	Blanco (11-1-010)
Compresores	Del color correspondiente al fluido que trabajan
Bases de H ^o A ^o , columnas o torres de iluminación, mástiles	Blanco (11-1-010)
Motores y generadores eléctricos	Azul (08-1-070)
Tableros eléctricos, paneles, artefactos e instrumentos eléctricos	Azul (08-1-070)

Figura 21 - Color de los elementos de las instalaciones

Superficies enterradas

Para las cañerías enterradas se implementa un sistema combinado de protección aislante y protección catódica. La primera aísla el sistema del terreno y constituye el revestimiento integral del gasoducto, en tanto que la segunda debe asegurar que el gasoducto mantenga un menor potencial eléctrico respecto del terreno, complementando así a la protección aislante ante fallas de la misma.

El revestimiento de la cañería se realizará con un revestimiento polietileno extruido tricapa, correspondiente al grupo G.4 de la norma NAG-108 "Revestimientos anticorrosivos de cañerías y accesorios". El mismo se divide en:

- a) Una película de resina epoxi en polvo de 100 μm de espesor mínimo, aplicado por medios electrostáticos.
- b) Una película de copolímero o termopolímero destinado a asegurar la adherencia entre la primera y tercera capa, con un espesor mínimo de 150 μm , aplicada por extrusión.
- c) Una capa de polietileno de baja densidad.

Una vez enterrada la cañería es posible que el recubrimiento no permanezca íntegro debido a diversos motivos: una mala aplicación del mismo, una rayadura durante el enterrado de la cañería, etc. Es por este motivo que es necesario proporcionar protección adicional a la cañería ya que en caso de rayadura del recubrimiento la corrosión será mucho mayor que en la cañería aérea debido a la diferencia de potencial eléctrico existente entre el suelo y la instalación.

La protección se complementa con el uso de ánodos de sacrificio. La cantidad de ánodos a utilizar, el tamaño de los mismos y su vida útil se determinan en el cálculo *Anexo 3: Memoria de cálculo de protección catódica ESMR&O Los Antiguos*. Los valores de resistividad del terreno surgen del documento de estudio de medición de resistividades, ya realizado.

Se calcula la superficie total de la instalación enterrada, diferenciándola en dos zonas, y calcula la cantidad de ánodos a utilizar en función de una estimación de 15% de superficie desprotegida.

Se determina que se utilizará un ánodo de sacrificio por zona, resultando un total de dos ánodos para la estación. El ánodo estandarizado a utilizar será un ánodo AZ63 de 4 Kg.

Juntas dieléctricas

Las juntas dieléctricas son utilizadas para controlar las corrientes parásitas mediante el confinamiento de la corrosión electrolítica. Están constituidas por una junta sellante y aislante, tubos aislantes, arandelas aislantes y metálicas. Dichas juntas se fabrican de acuerdo a las especificaciones ANSI B16.5.

Todos los equipos se unen a las cañerías de entrada y salida mediante conexiones bridadas. Es en dicha conexión donde se ubicarán las juntas dieléctricas para evitar el contacto entre dos componentes diferentes. En la *Figura 22*⁶ se puede observar una junta dieléctrica tipo E, que es el tipo de junta que se usará en el proyecto.

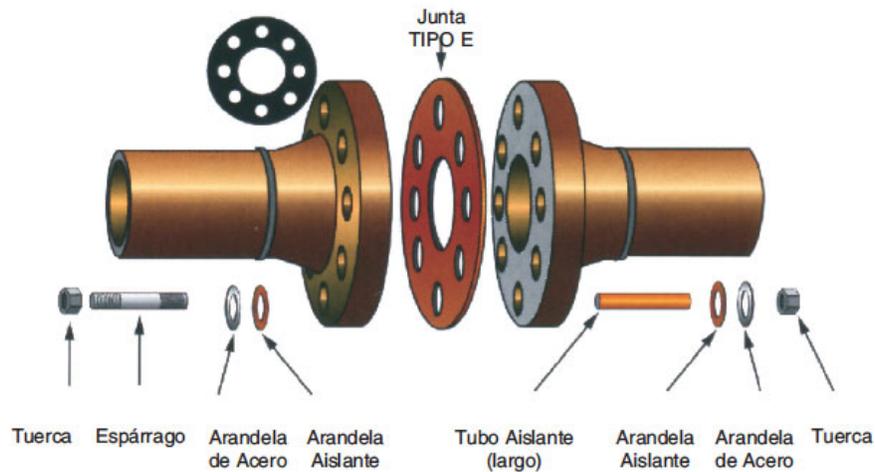


Figura 22 - Junta dieléctrica tipo E

⁶ Imagen extraída del catálogo comercial de FlexSeal.

8. Conclusiones

El dimensionamiento de una estación de separación, regulación, medición y odorización constituye un proceso multidisciplinario entre varias áreas: mecánica, electrónica, civiles, entre otras. Es imprescindible la comunicación entre todos los sectores de la empresa para poder mantener la coherencia entre todos los documentos. Se ha comprobado que durante la ejecución de varias memorias de cálculo fue necesario hacer modificaciones sobre planos constructivos donde los listados de materiales podían no coincidir con lo calculado en su memoria de cálculo correspondiente.

El rol asumido durante la ejecución de las tareas fue el de Proyectista Jr., participando activamente dentro del departamento de Ingeniería, interactuando con Proyectistas Sr. de las áreas anteriormente mencionadas.

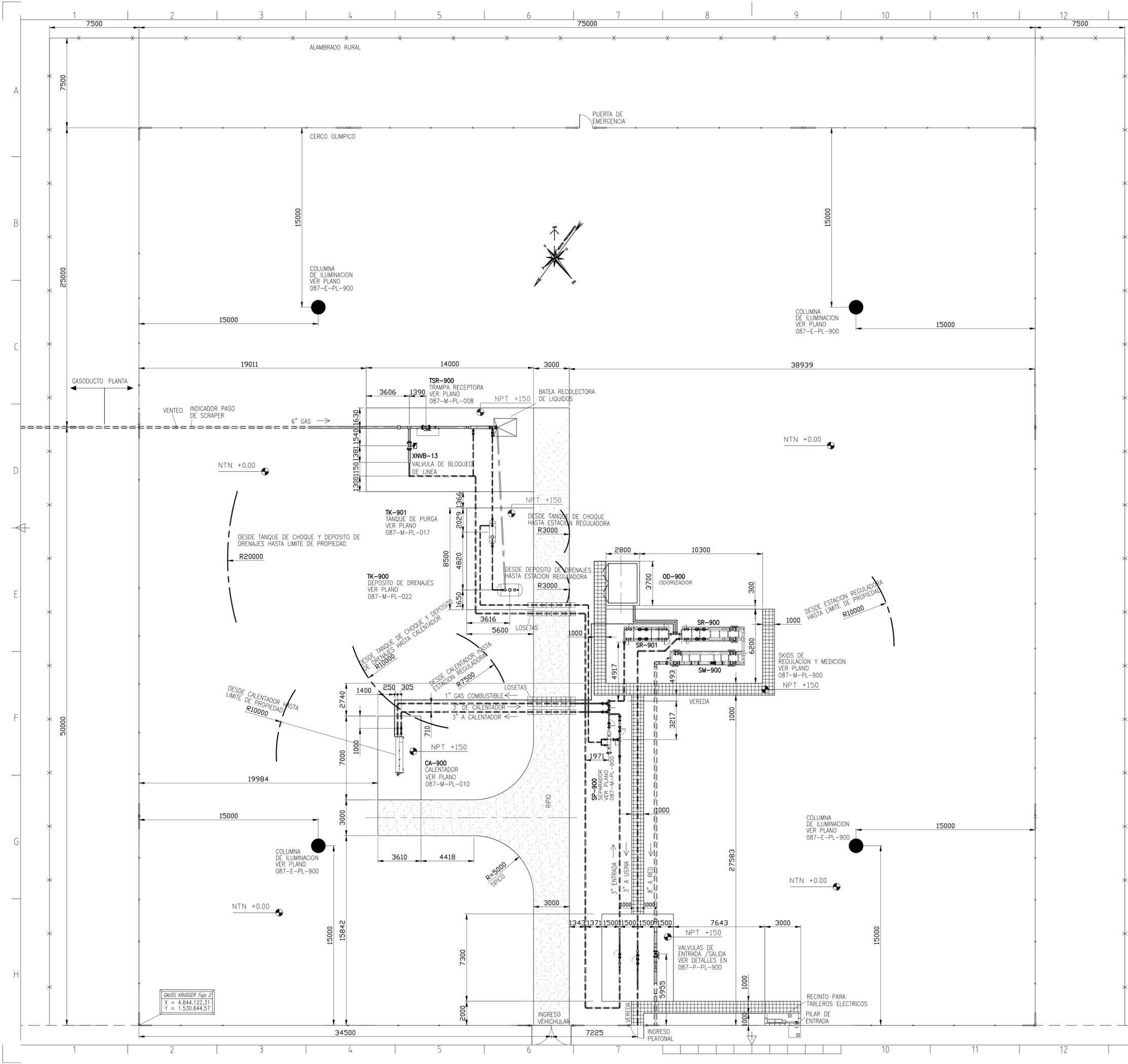
La elaboración del presente trabajo permitió la aplicación de gran parte del conocimiento adquirido en el ITBA, principalmente lo referido al área de resistencia de materiales. La experiencia resultó sumamente enriquecedora debido a la integración de varios aspectos fundamentales: la investigación y comprensión de la normativa vigente, la integración a un equipo de trabajo interdisciplinario, cumplimiento de obligaciones y tareas asignadas.

Toda la documentación necesaria entregable del proyecto debe ser concebida bajo el código de normas vigentes en el país. Durante la elaboración del presente proyecto pudo constatarse la antigüedad de muchas de las normas utilizadas, algunas con más de cinco décadas de antigüedad. Esta situación contrasta significativamente con otros países, donde la actualización de la norma vigente se hace de manera constante. Esto podría considerarse un reflejo del atraso tecnológico del país en cuestión de ingeniería y construcción.

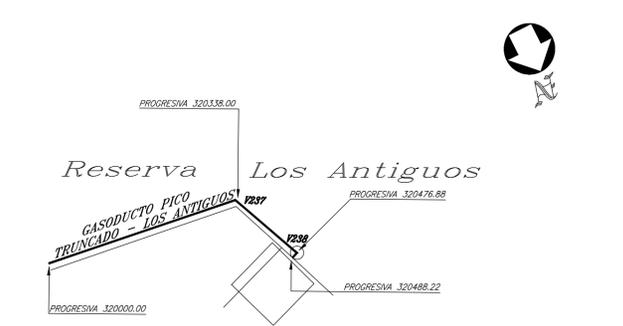
Al día de la fecha, la ingeniería total del proyecto mencionado se encuentra presentada al cliente y aprobada por el mismo. Sin embargo, la ejecución de la misma se encuentra momentáneamente suspendida por decisión del actual Gobierno. En cuanto el Gobierno apruebe el direccionamiento de fondos para la misma, comenzará su ejecución, pero de momento no se tiene una fecha de comienzo certera. En caso de ejecutarse la misma, es habitual que los proyectistas viajen a obra para conocer el curso de la misma.

Finalmente, se agradece la colaboración de todo el personal de BTU S.A. para la elaboración del presente proyecto, tanto en cuanto al asesoramiento recibido como en cuanto al acceso a la información necesaria concebido.

ANEXO I



CROQUIS DE UBICACION



NOTAS

- 1 - TODAS LAS MEDIDAS, PROGRESIVAS Y NIVELES ESTAN EXPRESADOS EN mm SALVO INDICACION CONTRARIA.
- 2 - EL SUELO SERA SELECCIONADO Y COMPACTADO AL 95% DEL PROCTOR NORMAL.
- 3 - TERMINACION SUPERFICIAL DE CEMENTO ALISADO RODILLADO.
- 4 - EL NIVEL DE FUNDACION ESTARA DETERMINADO POR EL NIVEL DE LA TAPADA DEL GASODUCTO EN CADA CASO.
- 5 - TERMINACION: ARENADO GRADO Sa 2 1/2 - PINTURA EPOXI COLOR AMARILLO - ESPESOR DE PINTURA SECA TOTAL 250 MICRONES.
- 6 - TODAS LAS MEDIDAS SON INDICATIVAS Y DEBERAN AJUSTARSE EN OBRA

MATERIALES

CEMENTO TIPO MRS
 HORMIGON H-17
 HORMIGON DE LIMPIEZA H-8
 ARMADURA MALLAS ELECTROSOLDADAS AM-500 - Q92
 ARMADURA BARRAS DN-A420

PLANOS DE REFERENCIA

- 087-C-LY-900 LAYOUT CIVIL
- 087-C-PL-900 PLATEAS VARIAS
- 087-P-PL-900 PIPING PLANTA LOS ANTIGUOS
- 087-C-PL-005 CERCO OLIMPICO PARA INSTALACIONES DE SUP
- 087-C-PL-008 CERCO DE CAMPO Y TRANQUERA
- 087-M-PL-008 BARREL RECEPTOR ø6"
- 087-M-PL-017 TANQUE DE PURGA
- 087-M-PL-022 TANQUE RECOLECTOR DE LIQUIDOS
- 087-M-PL-010 CALENTADOR 50000 BTU
- 087-M-PL-900 SKIDS DE REGULACION Y MEDICION LOS ANTIGUOS
- 087-E-PL-900 DISTRIBUCION ELECTRICA
- 087-T-PL-019 SOPORTE DE CAÑERIAS DE VENTEO
- 087-T-PL-021 MONTAJE VENTEOS ENTRADA Y SALIDA DE TRAMPA DE SCRAPPER
- 087-T-PL-030 PILAR DE ENTRADA

REFERENCIA



A PARA APROBACION		08.06.2013	NA	NA	JB	MM	FC
REV.	MODIFICACION	FECHA	DISEÑO	DIB.	REVISO	APROBO	RESPONSABLE
		LUGAR: Pcia. SANTA CRUZ OBRA: SISTEMAS DE EXPANSION GASODUCTOS DE PCIA. SANTA CRUZ ALIMENTACION DE GAS NATURAL A LOS ANTIGUOS Y LOCALIDADES INTERMEDIAS TITULO: LAY OUT PLANTA LOS ANTIGUOS TIPO DE ELABORADO: PLANO					
REEMPLAZA A:	REV.:	ESCALA	NUMERO DE ELABORADO CLIENTE:		ORDEN DE SERVICIO		
-	-	1:150	-		087		
REEMPLAZADO POR:	REV.:	HOJA N°	NUMERO DE ELABORADO:		REVISION		
-	-	1 de 1	087-G-LY-900		A		

ANEXO II

1 - CONDICIONES DEL GAS

Caudal máximo	G	<u>6000 m3/h</u>	<u>5,08 MMSCFD</u>	
Densidad relativa	S	<u>0,615</u>		
Presión del gas	P1 MIN P1 MAX	kg/cm2G	PSIG	PSIA
		<u>25</u>	<u>355,58</u>	<u>370,27</u>
		<u>70</u>	<u>995,61</u>	<u>1010,30</u>

2 - VALORES ASUMIDOS

Temperatura de entrada gas	T1	<u>3 °C</u>	<u>37,4 °F</u>
Temperatura baño de agua	Tb	<u>80 °C</u>	<u>176 °F</u>
Temperatura de salida gas	T2	<u>35 °C</u>	<u>95 °F</u>

3 - CANTIDAD DE CALOR REQUERIDO

a) Determinamos las entalpías para los estados de entrada y salida del calentador.
Ver **Diagrama N° 1** (Pag. 5)

H1	<u>3125 BTU/Lb-Mol</u>
H2	<u>3800 BTU/Lb-Mol</u>

b) Calculamos la cantidad de calor necesaria en función de la diferencia entálpica y el caudal de gas.

$$Q = 109,9 \cdot G \cdot (H_2 - H_1) = \underline{377084 \text{ BTU/h}}$$

Adoptamos Q 500000 BTU/h

4 - DIMENSIONAMIENTO SERPENTINA

a) Determinación de diámetro

Velocidad máxima recomendada [V] = 25 m/s

$$D2 = \frac{365.35 \cdot F}{V \cdot P}$$

V: velocidad en m/s D: ø de la cañería en mm

F: Caudal en m3/h

P: Presión mínima en kg/cm2 (Absoluta)

$$D2 = \frac{365,35 \cdot 6000}{25 \cdot 26,033}$$

D = 58,04 mm **Adoptamos cañería ø: 2"**

b) Del **diagrama N° 2** obtenemos el coeficiente de transmisión de calor (U)

Adoptamos U 115 BTU/h Ft2 °F

c) Calculamos la temperatura media logarítmica

$$LMTD = \frac{(T_b - T_1) - (T_b - T_2)}{\ln \frac{T_b - T_1}{T_b - T_2}} =$$

LMTD 107,2 °F

d) Determinamos el área de la serpentina

$$A = \frac{Q}{U \cdot LMTD} =$$

A 40,5 ft2

3,8 m2

e) Longitud serpentina

$$L = A/A_u$$

L 21,9 m

$$A_u = 0,172 \text{ m}^2$$

(Caño ø 2" Sch. 80 p/ diam. medio)

Longitud recta de 8 caños =

21,00 mts.

Desarrollo de codo 180° de 2" (7) =

1,12 mts.

Longitud total de adoptada =

22,12 mts.

f) Pérdida de carga

$$P_b = \sqrt{P_a^2 - (486 \cdot S \cdot L_c \cdot G^{1,82} \cdot D_i^{-4,82})} =$$

Utilizamos la fórmula de Weymouth

(Presiones absolutas)

Longitud de cálculo

Lc 22,12 m

Presion de entrada

Pa 70 kg/cm2G

Diámetro int. serpentina

Di 49,22 mm

Presion de salida

Pb 69,76 kg/cm2G

Caída de presión

Pa - Pb 0,24 kg/cm2

5 - DIMENSIONAMIENTO TUBO DE FUEGO

Según API 12 K

Coficiente transmisión lateral Máx

CTT **12000** BTU/ft2 (Secc. 4.4 solo baño de agua)

Coficiente circulación transversal Máx

CCT **15000** BTU/pulg2 (Secc. 4.5)

a) Determinación del diámetro

$$A_r = \frac{Q}{C_{CT}} =$$

AT 33,33 pulg2

$$D = \sqrt{\frac{A_r}{0.7854}} =$$

D 6,5 pulg

Se adopta caño ø 8" espesor std

b) Determinación de la longitud

$$A L = Q / CTT$$

AL = 41,7 ft2

3,87 m2

Au = 0,688 m²
(Caño øn 8")

L = A/Au L 5,6 m

Longitud recta de caño = 2,5 mts.

Desarrollo de codo 180° de 8" = 0,64 mts.

Longitud total adoptada = 5,64 mts.

6 - SELECCION QUEMADOR

$$q = \frac{Q}{PCI \cdot e}$$

Cantidad de calor	Q	<u>126000 Kcal/h</u>
Cap. calorífica inf.	PCI	<u>9300 Kcal/m³</u>
Eficiencia	e	<u>0,75</u>
Capacidad calculada	q	<u>18,06 m³/h</u>

Se adopta quemador EQA 93-2 Inyector 3,5mm- Ver Grafico N° 3

GRAFICO 1: Pressure - Temperature - Enthalpy Curves for Natural Gas

Indirect Heaters Design Manual - Revised 2/87

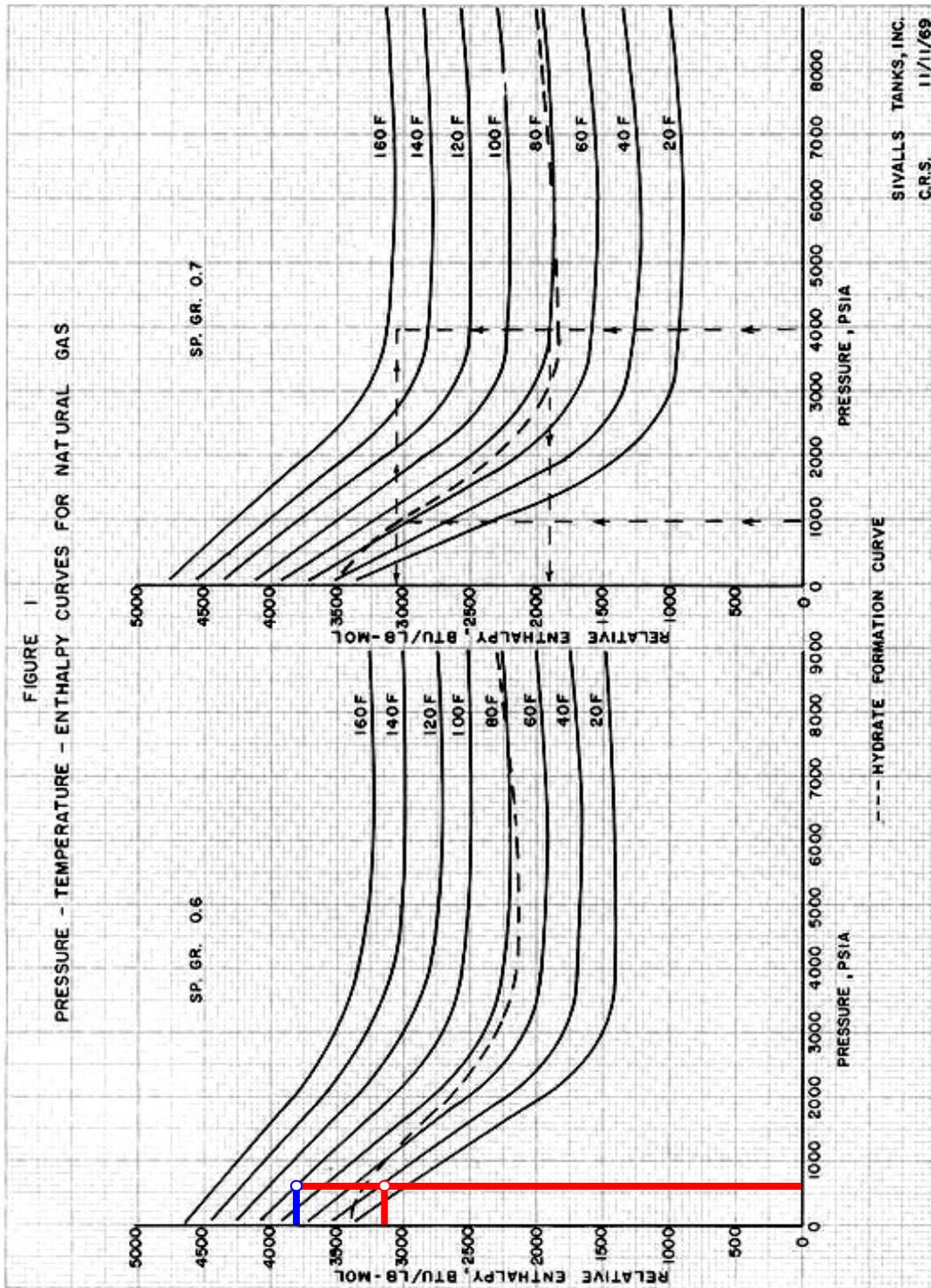


GRAFICO 2: Overall Film Coefficient for Natural Gas in Indirect Heaters

Indirect Heaters Design Manual - Revised 2/87

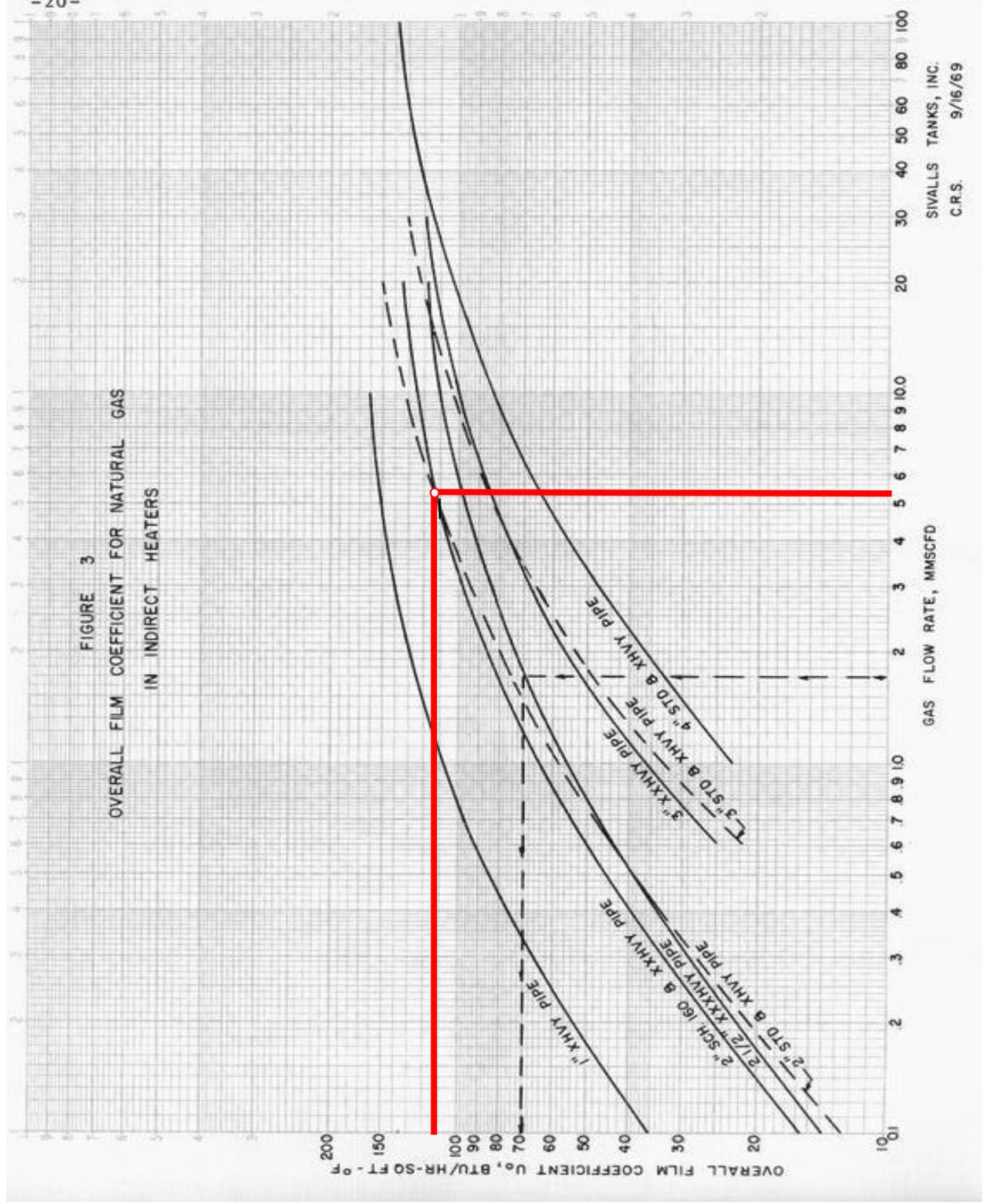
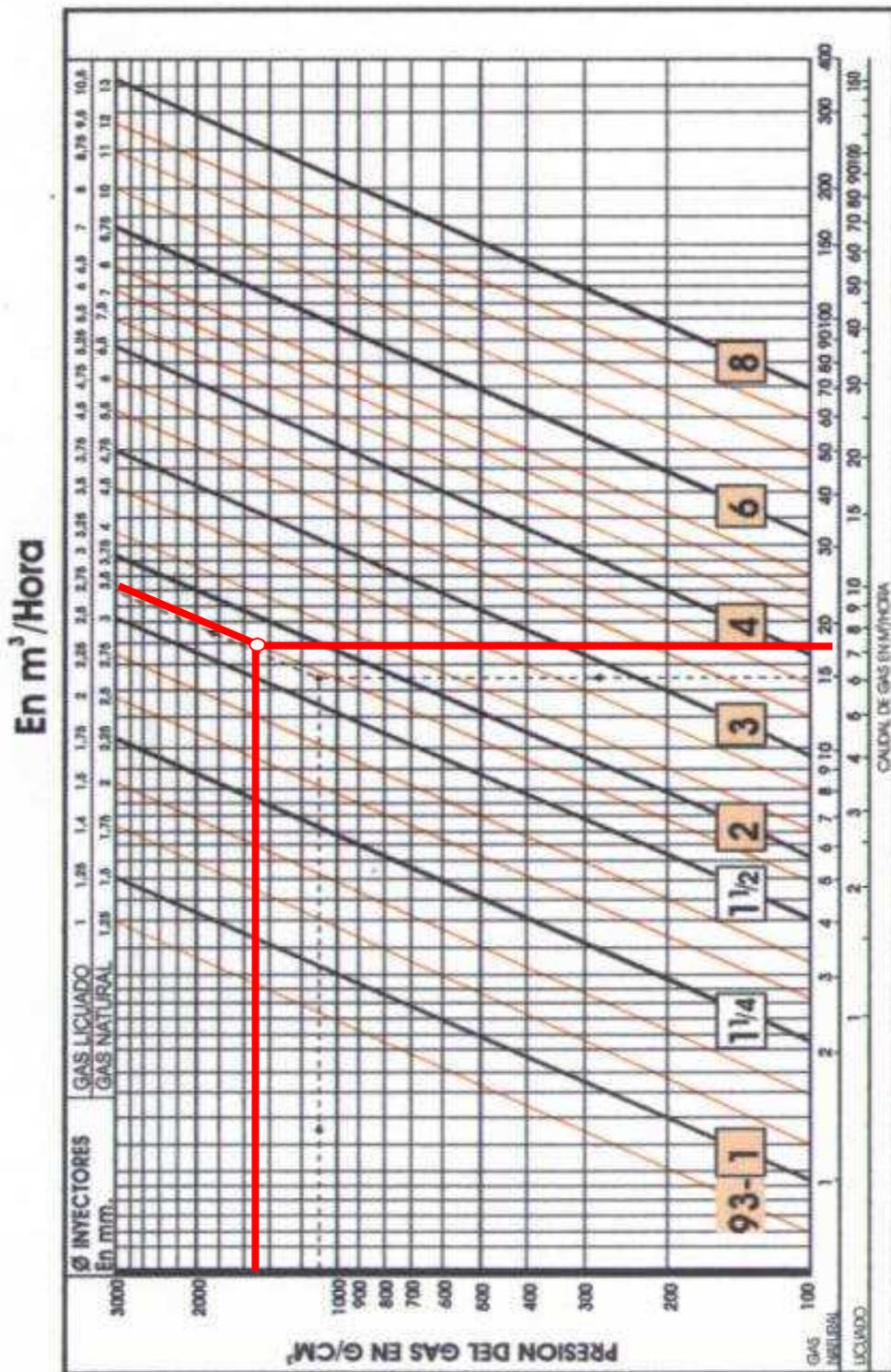


GRAFICO 3: Capacidades del Quemador EQA - 93



Estas son las curvas de capacidad para gas natural y licuado.

ANEXO III

	GASODUCTO PICO TRUNCADO - LOS ANTIGUOS Alimentación a Los Antiguos y localidades intermedias	087-F-MC-900
	MEMORIA DE CÁLCULO - PROTECCIÓN CATÓDICA ESMR&O LOS ANTIGUOS	A

ZONA 1: REFERENCIA (PLANO 087-F-LY-900)

Cañerías Instaladas:

1"	Longitud:	58 metros
3"	Longitud:	95 metros
8"	Longitud:	36 metros

Superficie a Proteger:

$$S = \pi \times D1 \times L1$$

S: Superficie a Proteger

D1: Diámetro de la cañería

L1: Longitud de cañería

π	D1 (m)	L1 (m)	S (m2)	
3.14	0.025	58	4.63	(1")
3.14	0.089	95	26.53	(3")
3.14	0.219	36	24.77	(8")
		Total	55.93	Superficie con revestimiento epoxi

Superficie a proteger 15% **8.39**

- Resistencia del Anodo frente al medio que lo rodea:

$$Ra = \frac{\rho}{2\pi L} \left[\ln \left(\frac{8L}{D} \right) - 1 \right]$$

ρ : Resistividad del Terreno

L: Longitud del Anodo

D: Diámetro del Anodo

ρ (ohm-cm)*	L (cm)	D (cm)	Ra (ohm)
48,673.00	70	20	258.09

* EL VALOR DE RESISTIVIDAD SURGE DEL "ANEXO 1" MEDICION DE RESISTIVIDADES DEL DOCUMENTO WT-217-P-MC-101

- Resistencia del Conductor:

MEMORIA DE CALCULO PROTECCION CATODICA ESMR&O

$$Rc = \frac{\rho_{cu}}{Sc} \times Lc$$

ρ_{cu} : $1,7 \times 10^{-2}$

Lc: longitud del cable

Sc: Sección del Cable

ρ_{cu}	Lc (m)	Sc (mm2)	Rc (ohm)
0.017	10	4	0.0425

0.0425

	GASODUCTO PICO TRUNCADO - LOS ANTIGUOS Alimentación a Los Antiguos y localidades intermedias	087-F-MC-900
	MEMORIA DE CÁLCULO - PROTECCIÓN CATÓDICA ESMR&O LOS ANTIGUOS	A

ZONA 1: REFERENCIA (PLANO 087-F-LY-900)

- Resistencia de un Anodo:

$$R_t = R_a + R_c \quad R_t \text{ (ohm)}$$

258.14

- Corriente que drena un Anodo:

$$I = \frac{V}{R}$$

V: Tensión

$$V \text{ (v)} \quad R \text{ (ohm)} \quad I \text{ (A)}$$

I: Corriente

$$0.65 \quad 258.14 \quad 0.003$$

R: Resistencia

- Cantidad de Anodos:

$$I_p = S \times D_c$$

I_p: Corriente de Protección

$$S \text{ (m}^2\text{)} \quad D_c \text{ (mA/m}^2\text{)} \quad I_p \text{ (mA)}$$

S: Superficie a Proteger

$$8.39 \quad 0.3 \quad 2.52$$

I: Corriente del anodo

Na: Número de Anodos

$$N_a = \frac{I_p}{I}$$

D_c: Densidad de la corriente
(Valor 10 veces superior al mínimo requerido en las pruebas de envío de corriente)

$$I_p \text{ (A)} \quad I \text{ (A)} \quad N_a$$

$$0.00252 \quad 0.003 \quad 1.000$$

Vida util

$$\text{Vida util} = \frac{C \times P \times R \times U}{I}$$

$$C = 0.116$$

C = Capacidad de corriente en A-año/Kg (tabla 8.2).

$$P = 4$$

P = Peso del anodo en Kg.

$$R = 0.5$$

R = Rendimiento en % (tabla 8.2)

$$U = 0.85$$

U = Factor de utilizacion

$$I = 0.003$$

I = Entrega de corriente del ánodo en (A).

Tabla 8.2

Metal anodico	Capacidad corriente teorica	Rendimiento
	(A-año/Kg)	%
Zinc (Zn)	0.094	95
Aluminio (Al)	0.34	90
Magnesio (Mg)	0.116	50

$$\text{Vida util} = \frac{0,116 \times 4 \times 0,5 \times 0,85}{0.003} = \mathbf{78 \text{ Años}}$$

Se adoptan 1 ánodo AZ63 de 4 Kg

	GASODUCTO PICO TRUNCADO - LOS ANTIGUOS Alimentación a Los Antiguos y localidades intermedias	087-F-MC-900
	MEMORIA DE CÁLCULO - PROTECCIÓN CATÓDICA ESMR&O LOS ANTIGUOS	A

ZONA 2: REFERENCIA (PLANO 087-F-LY-900)

Cañerías Instaladas:

2"	Longitud:	65 metros
3"	Longitud:	100 metros

Superficie a Proteger:

$$S = \pi \times D1 \times L1$$

S: Superficie a Proteger

D1: Diámetro de la cañería

L1: Longitud de cañería

π	D1 (m)	L1 (m)	S (m2)	
3.14	0.060	65	12.31	(2")
3.14	0.089	100	27.93	(3")
		Total	40.24	Superficie con revestimiento epoxi

Superficie a proteger 15% **6.04**

- Resistencia del Anodo frente al medio que lo rodea:

$$Ra = \frac{\rho}{2\pi L} \left[\ln \left(\frac{8L}{D} \right) - 1 \right]$$

ρ : Resistividad del Terreno

L: Longitud del Anodo

D: Diámetro del Anodo

ρ (ohm-cm)*	L (cm)	D (cm)	Ra (ohm)
48,673.00	70	20	258.09

* EL VALOR DE RESISTIVIDAD SURGE DEL "ANEXO 1" MEDICION DE RESISTIVIDADES DEL DOCUMENTO WT-217-P-MC-101

- Resistencia del Conductor:

MEMORIA DE CALCULO PROTECCION CATODICA ESMR&O LOS ANTIGUOS

ρ_{cu} : $1,7 \times 10^{-2}$

Lc: longitud del cable

Sc: Sección del Cable

ρ_{cu}	Lc (m)	Sc (mm2)	Rc (ohm)	
0.017	10	4	0.0425	0.0425

	GASODUCTO PICO TRUNCADO - LOS ANTIGUOS Alimentación a Los Antiguos y localidades intermedias	087-F-MC-900
	MEMORIA DE CÁLCULO - PROTECCIÓN CATÓDICA ESMR&O LOS ANTIGUOS	A

ZONA 2: REFERENCIA (PLANO 087-F-LY-900)

- Resistencia de un Anodo:

$$R_t = R_a + R_c \quad R_t \text{ (ohm)}$$

258.14

- Corriente que drena un Anodo:

$$I = \frac{V}{R}$$

V: Tensión

$$V \text{ (v)} \quad R \text{ (ohm)} \quad I \text{ (A)}$$

I: Corriente

$$0.65 \quad 258.14 \quad 0.003$$

R: Resistencia

- Cantidad de Anodos:

$$I_p = S \times D_c$$

I_p: Corriente de Protección

$$S \text{ (m}^2\text{)} \quad D_c \text{ (mA/m}^2\text{)} \quad I_p \text{ (mA)}$$

S: Superficie a Proteger

$$6.04 \quad 0.3 \quad 1.81$$

I: Corriente del anodo

Na: Número de Anodos

$$N_a = \frac{I_p}{I}$$

D_c: Densidad de la corriente
(Valor 10 veces superior al mínimo requerido en las pruebas de envío de corriente)

$$I_p \text{ (A)} \quad I \text{ (A)} \quad N_a$$

$$0.00181 \quad 0.003 \quad 0.719$$

Vida util

$$\text{Vida util} = \frac{C \times P \times R \times U}{I}$$

$$C = 0.116$$

C = Capacidad de corriente en A-año/Kg (tabla 8.2).

$$P = 4$$

P = Peso del anodo en Kg.

$$R = 0.5$$

R = Rendimiento en % (tabla 8.2)

$$U = 0.85$$

U = Factor de utilizacion

$$I = 0.003$$

I = Entrega de corriente del ánodo en (A).

Tabla 8.2

Metal anodico	Capacidad corriente teorica	Rendimiento
	(A-año/Kg)	%
Zinc (Zn)	0.094	95
Aluminio (Al)	0.34	90
Magnesio (Mg)	0.116	50

$$\text{Vida util} = \frac{0.116 \times 4 \times 0.5 \times 0.85}{0.003} = 78 \text{ Años}$$

Se adopta 1 ánodo AZ63 de 4 Kg