



ESCUELA DE INGENIERÍAS
INDUSTRIALES



UNIVERSIDAD DE VALLADOLID

ESCUELA DE INGENIERIAS INDUSTRIALES

MASTER UNIVERSITARIO EN
GESTION DE LA PRL, CALIDAD Y MEDIO AMBIENTE

Mantenimiento preventivo de los gasoductos: Vigilancia programada,
Protección catódica, paso de Pistones Inteligentes e Inspecciones

Autor:

López Rico, Rubén

Tutor de Empresa:

Andrés Martínez, César
Técnico de Prevención,
Medioambiente y Calidad
Enagás Transporte S.A.U.

Tutor Académico:

San Juan Blanco, Manuel
Director LCD-UVA
Laboratorio de metrología y
Calibración Dimensional



Valladolid, septiembre 2022

A mi familia, faro que ilumina en
las noches más oscuras
y en las tormentas más violentas

Resumen y palabras clave

Enagás es el Transportista y Gestor Técnico del Sistema Gasista de España (GTS) por lo que se encarga del transporte del gas natural por todo el territorio español. Esta operación la realiza por medio del Centro principal de control, las plantas de gas natural licuado, los almacenamientos de gas natural, las estaciones de compresión, las estaciones de regulación y/o medida, las estaciones de seccionamiento y corte y los gasoductos. Los procesos que se llevan a cabo para lograr este transporte son la regasificación, su transporte, y almacenamiento.

El gas natural que es un componente esencial para el funcionamiento del entramado económico-social de la sociedad. Este tiene asociado un riesgo ya que es un gas combustible, por ello la seguridad en el tratamiento con este combustible es tan importante y por lo que se establecen estrategias como vigilancias programadas, inspecciones de gas de fondo, fallos de revestimiento, protección catódica, paso de pistones inteligentes.

Gas natural, gasoducto, corrosión, mantenimiento

Abstract and keywords

Enagás is the Transportist and Technical Manager of the Spanish Gas System (GTS), which is why it is in charge of transporting natural gas throughout the Spanish territory. This operation is carried out through the main control center, the liquefied natural gas plants, the natural gas storages, the compression stations, the regulation and/or metering stations, the sectioning and cutting stations and the pipelines. The processes that are carried out to achieve this transport are regasification, transport, and storage.

Natural gas, which is an essential component for the functioning of the socio-economic fabric of society. This is associated with a risk since it is a combustible gas, which is why safety in the treatment with this fuel is so important and therefore strategies are established such as scheduled surveillance, bottom gas inspections, coating failures, cathodic protection, of intelligent pistons.

Natural gas, pipeline, corrosion, maintenance

Índice

1. Introducción	5
1.2. Motivo del trabajo	5
1.3. Lugar de realización	5
1.4. Tutor de Empresa	13
1.5. Tutor de la Uva	13
2. Justificación y Objetivos.....	13
2.1. Objetivo específico	14
2.2. Objetivos generales	14
3. Medios utilizados	14
3.1. Medios materiales	14
3.2. Medios humanos	15
4. Metodología empleada	15
5. Mantenimiento preventivo de los gasoductos	15
5.1. Vigilancia programadas	18
5.2. Inspecciones de gas de fondo y de fallos de revestimiento.....	21
5.3. Protección catódica	23
5.4. Paso de Pistones Inteligentes.....	25
6. Conclusiones	34
7. ANEXO.....	35
8. Bibliografía.....	36

1. Introducción

1.2. Motivo del trabajo

El motivo de la realización del presente Trabajo de Fin de Máster es la propia superación de la asignatura que incluye al TFM para llevar a cabo la finalización de los estudios: “Máster en Gestión de la Prevención de Riesgos laborales, Calidad y Medio ambiente”.

Además de, por supuesto, profundizar mis conocimientos sobre la prevención de riesgos laborales, el funcionamiento del sistema gasista español y la metodología de trabajo y tecnología empleada por Enagás Transporte S.A.U., empresa en la cual he llevado a cabo las prácticas de empresa asociadas al máster y donde se describirá con más detalle en el siguiente apartado.

1.3. Lugar de realización

-Centro de Transporte Valladolid

El lugar donde he realizado las prácticas de empresa ha sido el Centro de Transporte (CT) ubicado en la carretera Valladolid-Cigales, km 1,750 en Cigales, Valladolid. Un CT es la infraestructura donde se coordina el mantenimiento, la operación y el control de la red de gasoductos. El centro pertenece a la Gerencia de Transporte Norte que incluye las zonas de Galicia, Asturias, Cantabria, País Vasco, La Rioja y Castilla y León. Desde el centro se coordina toda la gerencia en área de prevención de riesgos laborales, calidad y medioambiente.

Las Gerencias de Transporte (divididas en Gerencia Norte, Este y Sur) se incluye en la Dirección de O&M, la cual pertenece a la Dirección General de Infraestructuras (DGII). La Dirección General de Infraestructuras se encarga del mantenimiento y explotación de las infraestructuras y recursos de los procesos técnicos y administrativos asociados a garantizar el suministro y el transporte de gas de los servicios contratados.



Figura 1: Centro de Transporte de Cigales

-Grupo Enagás

El grupo Enagás, S.A. es la empresa nacional del gas, líder en infraestructuras energéticas y está formado por Enagás GTS S.A.U, Enagás Transporte S.A.U., Enagás Internacional S.L.U., Enagás Services Solutions S.L., Enagás Empeñe, S.L.

Enagás es el Gestor Técnico del Sistema Gasista de España por lo que se encarga del transporte de este combustible por todo el territorio español. La sede social se encuentra en Madrid y la empresa está certificada como el operador del sistema de transporte (TSO) independiente por la Unión Europea. Además, la empresa está comprometida con la descarbonización, gases renovables y la transición ecológica ya que cuenta con más de 30 proyectos en hidrógeno y más de 20 proyectos de biometano.

Enagás no solo opera en España, sino que también se encuentra presente a nivel internacional en países como: Estados Unidos, México, Perú, Grecia, Albania e Italia.

Pero en España es dónde se lleva a cabo la actividad principal, a través 1 Centro Principal de Control, cuenta con alrededor de 12000km de gasoductos, 6 terminales de Gas Natural Licuado más otras 2 en desarrollo, 3 almacenamientos subterráneos de gas, 19 estaciones de compresión, 45 Centros de transporte, 416 Estaciones de Regulación y Medida y 6 conexiones internacionales.



Figura 2: Mapa puntos principales de distribución de gas

La diferentes instalaciones en las que mantiene sus activos y opera Enagás son:

-Plantas Gas Natural Licuado (GNL): Son las plantas donde el gas se modifica el estado del gas, es decir, se regasifica. Pasa del estado líquido inicial (a -160°C) en el que llega en los metaneros, y por medio de vaporizadores de agua de mar para aumentar su temperatura alcanzando el estado gaseoso para así poder introducirse a la red de gasoductos.



Figura 3: Planta de GNL (Cartagena)

-Almacenamiento de Gas Natural: Son la infraestructuras donde se guardan reservas de gas natural con la intención de poder ajustar la oferta y la demanda cuando se den puntas en el consumo durante el año. Se encuentran en el subsuelo y se utilizan antiguos yacimientos, acuíferos profundos o cavidades generadas en formaciones salinas. También hay que tener en cuenta que en los propios gasoductos en plantas de regasificación se almacena gas natural.



Figura 4: Almacenamiento on-shore, (Gaviota)



Figura 5: Estación de compresión (Haro)

-Estaciones de Compresión: La finalidad de las estaciones de compresión es comprimir el gas para recuperar la presión perdida y así el gas circule por la red de gasoductos de forma óptima. La presión máxima a la que se eleva el gas es de 72-80 bar. Esta elevación de la presión se lleva a cabo por medio de uno o más grupos de turbocompresores y turbinas de gas asociadas.

-Estaciones de Regulación y/o Medida: Son un conjunto de instrumentos, tuberías, dispositivos de control, válvulas y elementos de seguridad instalados con la finalidad de cuantificar las magnitudes físicas del combustible gaseoso, es decir, se contabiliza la cantidad de gas entregado. Estas instalaciones se ubican en puntos de entrega a distribuidoras. Aquí se produce la reducción de la presión del gas, generalmente de 80/72 bar a 16 bar y su posterior contabilización.



Figura 6: ERM del CT de Valladolid

-Estaciones de Seccionamiento y Corte (ESC): Cada ciertos km de red de gasoductos, se instalan una serie de nudos de válvulas de corte cuya función es la interceptación del gaseoducto y en caso de necesidad de dejarlo fuera de servicio temporalmente por mantenimiento o en caso de emergencia.

La cadena de valor y de procesos que se llevan a cabo con las diferentes infraestructuras expuestas son la siguiente:

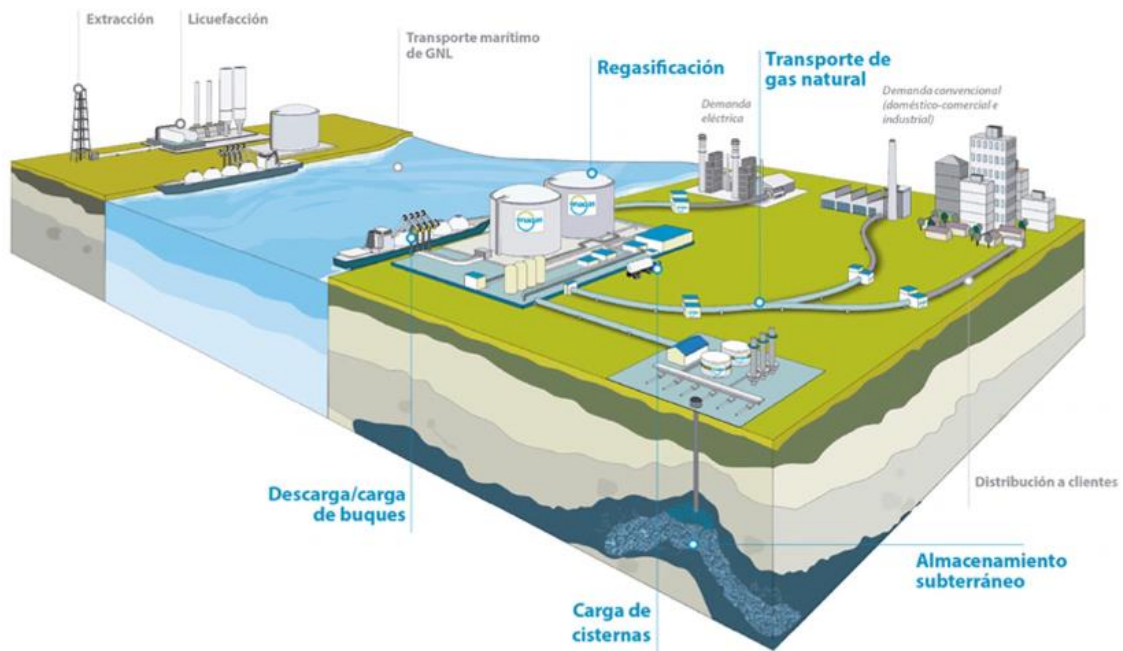


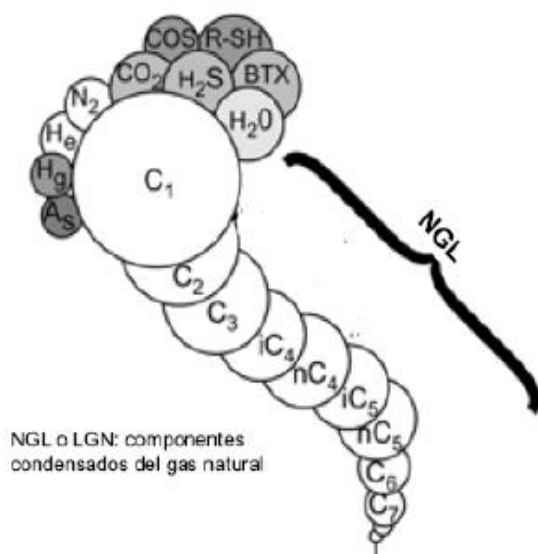
Figura 7: Cadena de valor del gas natural

- **Extracción:** Se extrae el gas natural de un yacimiento.
- **Licuefacción:** Se provoca el enfriamiento del gas hasta una temperatura de -160°C , licuando de esta forma el gas, ya que en estado líquido ocupa alrededor de 7 veces menos de volumen y el transporte es más sencillo.
- **Transporte marítimo de GNL:** Por medio de buques metaneros. El GNL se transporta hasta la planta regasificadora que la demanda gasista solicite. También se realiza transporte marítimo por medio de gasoducto, pero en este caso el gas se encontraría licuado sino en estado gaseoso.
- **Descarga/carga de buques:** Se puede dar el vaciado de los buques metaneros para su regasificación o el llenado de buques más pequeños para que puedan llegar a zonas de mayor dificultad de acceso.
- **Regasificación:** Por medio de vaporizadores que utilizan el agua de mar, el GNL se calienta, volviéndose así otra vez gaseoso y listo para ser transportado por tubería.
- **Transporte de gas natural:** Circulación y movimiento del gas por medio de la red de transporte gasista. También se pueden transportar pequeñas cantidades por medio de cisternas a puntos concretos en forma de GNL.
- **Almacenamiento subterráneo:** Se inyecta el gas a alta presión en la roca porosa y rodeada de roca impermeables para su almacenamiento.

-El gas natural

Se denomina gas natural a la mezcla de gases, de composición variables (metano 83%-97%, etano 0,3%-11%, propano 0,1%-2%), con el metano como componente predominante, que se encuentran aislada a presiones relativamente elevadas en formaciones geológicas, porosas y permeables de la corteza terrestre llamadas yacimientos.

Aunque el gas natural sea un combustible fósil, es una fuente de energía bastante respetuosa con el medioambiente, ya que genera menor impacto durante extracción, tratamiento, transporte y uso que el resto de los combustibles fósiles. Además, durante su combustión, el gas natural produce menos emisiones de CO_2 , menos emisiones de NO_x y menos emisiones SO_2 que el carbón y el fuel.



Las propiedades del gas natural son: es menos denso que el aire, es incoloro, es inodoro, no es tóxico, es comprimible y es inflamable. Esta última propiedad es la que le aporta el gas su utilidad para sociedad, pero también es la que aporta la mayor peligrosidad, ya que una fuga de gas puede generar una atmósfera explosiva.

Figura 8: Componentes gas natural

Por este motivo, la seguridad es un componente muy importante en el sector gasista, por lo que el correcto mantenimiento y revisión de los gasoductos, instalaciones e infraestructuras es tan importante.

-Gases renovables

Enagás también está comprometida con la transición energética, lo que lleva a la empresa a través de su filial Enagás Renovables a participar en más de 50 proyectos de gases renovables, hidrógeno renovable y biogás/biometano renovable. El punto clave de estos gases renovables es que pueden ser transportados a través de la red de infraestructuras gasistas, dándoles un valor a futuro y pudiendo llegar a ser una de las claves de la transición energética.

El hidrógeno verde se considera 100% renovable ya que en todo su proceso de producción las emisiones de CO_2 son cero. Para producir el hidrógeno se lleva a cabo un proceso de electrólisis del agua a partir de energía renovable eléctrica (cómo por ejemplo solar o eólica) donde no se emite CO_2 y se separa la molécula del agua en

hidrógeno y en oxígeno, aportan así para la descarbonización de los sectores dónde se utilice.

En esto último, a modo de ejemplo, Enagás a través de Enagás Emprende y una de las filiales de esta última, Scale Gas, participa junto con otras empresas como Cabify y Toyota para formar la primera flota de VTCs alimentados por hidrógeno y que por medio de la pila de combustible del coche este mismo genere la electricidad que se suministra al motor eléctrico con el que estos vehículos van equipados.



Figura 9: Toyota modelo Mirai junto a hidrogenera de Scale Gas

El biogás/biometano es un gas renovable que puede llegar a ser utilizado para producir electricidad y calor, especialmente en entornos industriales dónde la electrificación no es posible. Su generación es a partir de la digestión anaerobia de la fracción orgánica de residuos, los cuales pueden ser: municipales, de la industria agroalimentaria, de lodos de depuración, restos de cultivos y de deyecciones ganaderas.

Puede ser transportado por las infraestructuras gasistas existentes y actúa como fuente de energía renovable, local y almacenable. Además, ayuda a la reducción de emisiones atmosféricas y al desarrollo de una economía circular en las zonas rurales.



De esta forma, Enagás contribuye al cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) donde cabe destacar el número 13: “Acción por el clima”

Otros ODS en los que se contribuye tanto de manera directa son: el 5: “Igualdad de género”, el 7: “Energía asequible y no contaminante”,

Figura 10: Simbología ODS número 13

el 8: “Trabajo decente y crecimiento económico” y el 9: “Industria, innovación e infraestructura”.

-Prevención de riesgos en Enagás

Cómo se ha comentado, la seguridad y la prevención de riesgos laborales es un componente muy importante en Enagás, por ello la empresa cuenta con un Servicio de Prevención Mancomunado (SPM). El SPM incluye las especialidades de Seguridad Industrial, Higiene industrial y Ergonomía y Psicología Aplicada. La especialidad de Medicina en el Trabajo se lleva a cabo por medio de un Servicio de Prevención Ajeno (SPA).

Enagás cuenta con Técnicos Superiores de Prevención de Riesgos Laborales, los cuales pueden pertenecer directamente al SPM o estar adscritos al SPM donde su función es apoyar en materia de prevención de riesgos laborales a los centros designados, además de participar activamente en actividades y gestiones relacionadas con el medioambiente y la calidad. También la empresa cuenta con trabajadores designados por la Dirección en materia de prevención coordinándolo con sus funciones habituales; estos trabajadores designados no pertenecen al SPM.

Dentro de la Dirección de Transporte, la responsabilidad en materia de prevención corresponde al Director General de Infraestructuras, delegando la gestión de la misma en el Director de O&m, a través de las Gerencias de Transporte. Dichas Gerencias de Transporte, a través de los Técnicos de Prevención y Medio Ambiente, colaboran y dependen funcionalmente del Servicio de Prevención Mancomunado.

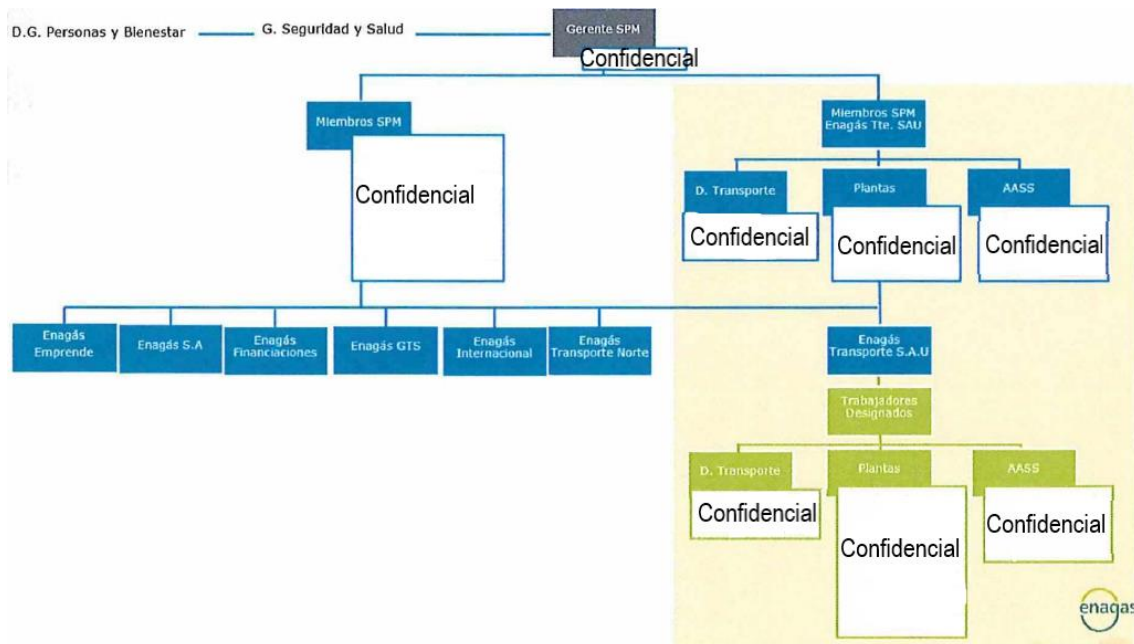


Figura 11: Distribución prevención

1.4. Tutor de Empresa

El tutor de empresa de Enagás ha sido D. César Andrés Martínez, Técnico de Prevención, Medioambiente y Calidad.

Cabe hacer mención también a D. Víctor Tomás Del Sordo Nicolás, Técnico de Prevención, ya que con él también se ha colaborado estrechamente durante la realización de las prácticas.

1.5. Tutor de la Uva

El tutor de la Universidad de Valladolid ha sido D. Manuel San Juan Blanco, Director de LCD-UVA.

2. Justificación y Objetivos

Durante las primeras semanas posteriores del comienzo de las prácticas, comencé a darme cuenta de la magnitud y del gran alcance de la empresa, por lo que en ciertos momentos te llegas a sentir abrumado de la cantidad información que tienes que asimilar y lo dispersa que se encuentra, repartida en los diferentes archivos y documentos internos. Esto fue comentado por otros compañeros que también comenzaban su andadura profesional en la empresa. Esta problemática fue trasladada a los técnicos de prevención, calidad y medioambiente.

2.1. Objetivo específico

Una vez comentado lo anterior, nació el objetivo del Trabajo de Fin de Máster, crear una recopilación bibliográfica donde se sintetizará una base de conocimiento de la empresa y que fuera de fácil lectura y acceso; que sirviera como una pequeña guía y para poner en situación a los empleados y nuevas incorporaciones y así obtuvieran los conocimientos básicos necesarios para comenzar con la tarea descrita.

Se podrían haber elegido diversos temas, pero el mantenimiento preventivo de los gasoductos es un trabajo que cada día lo realizan más lo propios empleados de Enagás y menos las diferentes contratistas, habiéndose generado también la problemática de que trabajadores de Enagás no hubieran realizado aún ninguna tarea de esta índole y se sospechara de la carencia de conocimientos sobre esta materia, por lo que si se comenzaba por aquí podríamos ser capaces de adelantarnos a los acontecimientos y así tener preparados a los trabajadores para cuando se de la situación de que ellos llevaran a cabo las tareas y no la contratista.

Por lo que así, se comenzó a realizar el trabajo: “Mantenimiento preventivo de los gasoductos: Vigilancia programada, Protección catódica, paso de Pistones Inteligentes e Inspecciones”.

2.2. Objetivos generales

- Síntesis de información de fácil acceso y aplicabilidad
- Solución de la problemática de tener información dispersa y que esta no fuera de fácil acceso a los trabajadores internos de la empresa
- Agilización a la hora de llevar trabajos de mantenimiento preventivos
- Instrucción para la comprensión del funcionamiento de la empresa, sus diferentes sistemas y tecnologías empleadas
- Concienciación de la importancia del mantenimiento preventivo y su relevancia en la empresa

3. **Medios utilizados**

3.1. Medios materiales

Para la realización de este trabajo, los medios materiales utilizados han sido: ordenadores personales con conexión a internet, cámara de fotos integrada en el teléfono móvil, ropa de trabajo, EPIs, explosímetro, vehículo, manuales.

Respecto al software empleado ha sido: Microsoft Word, Adobe PDF, Microsoft Power Point, Google Chrome e Intranet de la organización.

3.2. Medios humanos

Los medios humanos que han colaborado en este trabajo han sido los propios tutores de este trabajo ya mencionados al comienzo del documento y los diferentes trabajadores de Enagás que se han prestado a resolver las dudas y preguntas (que surgían mientras se elaboraba el trabajo) de forma oportuna y eficaz.

4. Metodología empleada

La metodología que se ha llevado a cabo para realizar el presente estudio ha sido un método fácil, pero de lo más eficaz. Primeramente, se ha llevado a cabo una recopilación de información que podría ser útil o no serlo.

A continuación, toda esta información se fue leyendo y cribando hasta obtener una información de más calidad. Posteriormente se realizó un ejercicio de comprensión y asimilación al que le siguió la propia redacción del documento. Mientras se realizaba la redacción se iban realizando las diferentes fotografías y por parte de los “medios humanos” se iban resolviendo las dudas que iban surgiendo.

5. Mantenimiento preventivo de los gasoductos

Para que la red gasista cumpla con su función y se pueda distribuir de forma segura y eficiente el gas a través de ella, esta debe encontrarse en perfecto estado. Una de las estrategias más eficaces que nos podemos encontrar dentro de la prevención de riesgos laborales en la rama de seguridad es el mantenimiento preventivo. Entendemos mantenimiento preventivo como toda acción llevada a cabo para revisar de forma sistemática y bajo ciertos criterios equipos de cualquier clase (mecánicos, eléctricos, informáticos, etc..) para evitar que se produzcan averías por su utilización, desgaste o el paso del tiempo y que puedan acabar desembocando en incidentes y en el caso más grave, accidentes.

La parte legislativa más importante que atañe a esta revisión bibliográfica es el “Reglamento de redes y acometidas de combustibles gaseosos -ITC-MIG-5.1- Canalización de transporte y distribución de gas en alta presión B”; aprobado por la Orden de 26 de octubre de 1983 por la que se modifica la Orden del Ministerio de Industria de 18 de noviembre de 1974.

Esta instrucción técnica especifica los requisitos mínimos y las medidas de seguridad mínimas que deben llevarse a cabo a la hora de proyectar, construir y explotar las canalizaciones de gas de una presión superior a 16 bar.

Además, afectar al gas canalizado que esté incluido en alguna de las familiar a las que se refiera la norma UNE 60.002, que el material con el que se construyen los elementos tubulares sea acero y sus características cumplan con los requerimientos y condiciones del trabajo adecuadas al caso empleado de acuerdo con lo estipulado en las Instrucciones MIG, que la presión máxima de servicio sea superior a 16 bar y que la temperatura no sea en ningún punto de la canalización superior a 120°C.

La red está dividida en sección es por medio de nudos de válvulas, lo cuáles dependiendo la categoría de emplazamientos, estas se encuentran a un distancia u a otra.

Tabla 1: Categorías de emplazamiento

Categoría de emplazamiento	Separación máxima en Km
1	30
2	20
3	10
4	5

Adicionalmente el volumen de gas comprendido entre dos válvulas consecutivas no excederá de 700.000 m³. Aunque si se trata de un emplazamiento de categoría 1 el volumen podría llegar hasta 2.000.000 m³ siempre que se trate de gases menos densos que el aire y se incremente la seguridad, por ejemplo, mediante un sistema de tele información y un sistema de válvulas automáticas.

También la corrosión del gasoducto tanto externa como interna es un factor a tener en cuenta para su mantenimiento preventivo. Se considera a la corrosión como la destrucción de una materia sólida que es causada por un ataque no provocado tanto de naturaleza química como de naturaleza electroquímica que comienza en la superficie del material afectado. El gran problema de la corrosión también es que los daños son acumulativos, es decir, el problema va empeorando sino se ataja.

Tipos de corrosión que sufren los gasoductos

- Corrosión por corrientes vagabundas: El gasoducto es afectado por influencias de corriente continua y la corrosión que se genera normalmente son en puntos muy localizados (pequeños defectos de mayor o menor penetración)

Corrosión general o uniforme: Las partes del gasoducto que son afectadas presentan una apariencia rugosa ya que se produce una pérdida de material desigual.

- Corrosión por corriente alterna: Esta corriente es inducida por las líneas de alta tensión y por sistemas de tracción por corriente alterna. Cuando se produce corrosión, esta se presenta en zonas muy localizadas que tiene forma semiesférica y con los bordes limpios. Normalmente en este tipo de corrosión podemos ver los óxidos que forma la corrosión en formas voluminosas.
- Corrosión bacteriana: Como bien su nombre indica, este tipo de corrosión es producida por la actividad de bacterias anaerobias ya que estas bacterias se desarrollan en ambientes húmedos y con falta de oxígeno. Se suelen formar secciones semiesféricas con los bordes afilados. Es común encontrar sulfatos y sulfuros acompañados de mal olor producido por ácido sulfhídrico.

- Corrosión galvánica: Este tipo de corrosión se da cuando aleaciones diferentes del mismo metal están en contacto directo y en el mismo electrolito. Análogamente, la corrosión diferencial puede ocurrir para un mismo metal si este está sometido a electrolitos diferentes. Por eso este tipo de corrosión aparece en la transición suelo-aire cuando un gasoducto enterrado sale a superficie.
- Corrosión química: Esta corrosión se da si dónde se encuentra el gasoducto el suelo estaba contaminado por productos químicos corrosivos o si el suelo ha sido contaminado con estos productos a posteriori.

Para la protección contra la corrosión externa y el mantenimiento óptimo de la red de canalizaciones enterradas deberán estar revestida de forma continua a base de brea de hulla, betún de petróleo, materia plástica (polietileno) u cualquier otro material de forma que la resistencia eléctrica, adherencia al metal, la impermeabilidad al aire y al agua, resistencia a los agentes químicos del suelo, plasticidad y resistencia mecánica, ausencia de poros, al resistencia al impacto hincado y desgarró y resistencia al despegue catódico. satisfagan las condiciones a las que se verá sometida la canalización. Además de que esta protección externa no permite escapar a los electrones que pueda emitir la canalización y protege de defectos de escape de gas en el caso que se produzca.



Figura 12: Revestimiento externo

En los puntos donde se utilicen vainas o tubos de protección metálicos, se asegurará un perfecto aislamiento eléctrico entre la canalización y dicha vaina, o se incluirá está en el sistema de protección catódica.

Además, las partes de la canalización aérea se protegerán contra la corrosión externa por medio de pintura, metalizado y otro sistema apropiado (protección catódica local con ánodo de sacrificio, toma de tierras, juntas aislantes). Como complemento del revestimiento externo todas las canalizaciones enterradas irán provistas de un sistema de protección catódica que garanticen potencia entre la canalización y el suelo, la protección catódica será estudiada en los puntos posteriores de este trabajo.



Figura 13: Canalización aérea protegida con pintura y puesta a tierra



Figura 14: Puesta a tierra mecánica de las canalizaciones aéreas

De acuerdo con la protección contra la corrosión interna, se entiende que los combustibles gaseosos no son corrosivos. Aunque el gas no sea corrosivo, los tubos de los gasoductos se pintan interiormente con resinas de tipo epoxi con el fin de evitar cualquier desgaste físico ya que el propio movimiento del gas, sus presiones, cualquier impureza y los pasos de pistones inteligentes pueden dañar el gasoducto y poner en peligro su integridad.

Por lo tanto, con la voluntad de revisar y evitar accidentes, se llevan a cabo diferentes acciones como mantenimiento preventivo dentro de Enagás Transporte S.A.U; las cuales son: vigilancias programadas, protección catódica, paso de pistones inteligentes y las inspecciones que se van a exponer en profundidad a continuación.

5.1. Vigilancias programadas

La ITC-MIG-5.1 establece que la compañía operadora tendrá un plan de vigilancia, revisión y control para observar las condiciones superficiales de la totalidad de la traza por donde discurre la canalización para localizar indicaciones de fugas, actividades de construcción y otros factores que pudieran afectar a la seguridad y a la operación, de acuerdo con los puntos siguientes:

Habrán dos tipos de vigilancia ocular en las canalizaciones. Un de modo general a la que denominaremos de tipo A y cuya finalidad es descubrir las acciones exteriores que puedan afectar a la red y una más con más detalle, que se va a denominar de tipo B y cuya finalidad es examinar la red con el fin de descubrir las posibles anomalías.

Para la vigilancia de tipo A, se podrán usar medios aéreos, vehículos terrestres, a pie o una combinación de todos estos medios para así poder observar la totalidad del trazado que se somete a vigilancia.



Figura 15: Helicóptero utilizado para llevar a cabo las vigilancias

Para la vigilancia tipo B, esta se deberá realizar a pie.



Figura 16: Trabajador de Enagás llevando a cabo una vigilancia tipo B

A continuación, se muestran las frecuencias mínimas para realizar las vigilancias:

Tabla 2: Frecuencias en función al tipo de vigilancia

Categoría del emplazamiento	1	2	3	4
Vigilancia tipo A	Cada seis meses	Cada seis meses	Cada tres meses	Cada tres meses
Vigilancia tipo B	Cada año	Cada seis meses	Cada seis meses	Cada seis meses

Hay que tener en cuenta que para los tramos de canalización que están sumergidos se determinará en cada caso específico por parte de Enagás.

También, como mínimo cada 3 años, se comprobará el estado superficial de todas las partes aéreas de las canalizaciones en el 100% de su superficie.

Respecto a la vigilancia tipo A, a mayores de la clasificación que se acaba de exponer, se establece una clasificación de los distintos tramos de la red de gasoductos que se basa en el riesgo potencial que se puede dar en dichos tramos y que representan las actividades predecibles que se pueden dar en las inmediaciones de estos. Por lo tanto, esta clasificación se superpone a la de categoría del emplazamiento, produciéndose una división de la red en tramos los cuales se exponen a continuación:

- Clase R1: Se incluyen en esta clase, todos los tramos de gasoductos que discurren por zonas rurales, montañosas o desérticas, con baja o nula actividad.
- Clase T: Se incluyen en esta clase, todos los tramos de gasoductos que discurren por zonas rurales, montañosas o desérticas, que puedan llegar a tener algo de actividad.
- Clase R: Se incluyen en esta clase todos los tramos de Gasoducto que discurren por zona rural, independientemente de que sean zonas cultivadas o no, pudiendo existir en la zona edificaciones originadas por granjas, usos agrícolas, o viviendas habitadas aisladas.
- Clase S: Se incluyen en esta clase todos los tramos de Gasoducto que discurren por zonas próximas a ciudades o pueblos en donde existen conjuntos de edificaciones aislados de cualquier tipo (residenciales y/o industriales) pero no se dan las circunstancias de las clases U y E.
- Clase U: Se incluyen en esta clase todos los tramos de Gasoductos que discurren por zonas urbanas, sean residenciales, comerciales o industriales, en las que no predominan edificios de 4 o más alturas en la calle por la que circula la canalización, pudiendo existir edificios de pública concurrencia.
- Clase E: Esta clase es complementaria de la clase U y en ella se incluyen todos los tramos de Gasoductos que discurren por zonas urbanas residenciales, en donde se da con frecuencia concentración de personas de forma permanente (zonas con edificación mayoritaria de más de 4 alturas) o predominan edificios

de pública concurrencia y aquellas zonas que basándose en la experiencia se concentren obras de terceros que afecten o puedan afectar a las canalizaciones de gas.

La intención de la clasificación por categoría de emplazamiento es establecer unas características a la hora de la construcción que garanticen la seguridad adecuada de las instalaciones de conducción del gas.

La clasificación de vigilancia de tipo “A”, va encaminada a establecer los requisitos de vigilancia y mantenimiento preventivo y de seguridad en los diferentes tramos de gaseoducto, así garantizándose la seguridad de las instalaciones frente a las posibles intervenciones de terceros que realicen trabajos en las proximidades de las mismas y que aseguren la atención que merece a los posibles fallos propios de la instalación y que pudieran provocar alarmas o daños a personas, edificios o instalaciones de las proximidades.

A continuación, se muestran las frecuencias mínimas para realizar las vigilancias:

Tabla 3: Frecuencia de los tipo de clase

Tipos de clase	Frecuencia
Clase R1	3 meses
Clase T	2 meses
Clase R	1 mes
Clase S	15 días
Clase U	1 vez a la semana
Clase E	2 veces a la semana

Esta gran cantidad de vigilancias va a asociada a una serie de riesgos que de otra forma no se llegarían a dar pues para llevar a cabo estas tareas hay que abandonar el lugar de trabajo habitual, es decir, trabajo in misión. Por lo general, estos trabajos se suelen hacerlos acompañados de otros compañeros. Estos riesgos con los que nos encontramos son: accidentes con los vehículos, accidente con el helicóptero, insolación, lesiones musculoesqueléticas (a veces son zonas de difícil acceso y tránsito) y ataque de fauna silvestre (reptiles, insectos, herbívoros...).

5.2. Inspecciones de gas de fondo y de fallos de revestimiento

Las inspecciones de gas de fondo y de fallos de revestimiento son un tipo especial de vigilancias programadas y se suelen llevar a cabo conjuntamente con vigilancias de tipo B. La periodicidad de estas es:

Tabla 4: Periodicidad según la categoría de emplazamiento

Categoría del emplazamiento	1	2	3	4
Tipo G	4 años	4 años	2 años	2 años
Tipo P	4 años	4 años	2 años	2 años

El objetivo de las inspecciones de gas de fondo o Vigilancia tipo “G” es la detección de fugas de gas mediante el uso de equipos sencillos de usar. Se realizan caminando y cada dos metros se toma una muestra. Se emplea un pequeño dispositivo móvil que se desplaza sobre la traza y que detecta las posibles fugas de gas.

El objetivo de las inspecciones de fallos de revestimiento de gasoducto o Vigilancia tipo “P” es comprobar si el revestimiento que protege a la tubería no está dañado por medio de la prueba Pearson, el método de potenciales paso a paso (COPS) o el método de gradientes de potencial (DCVG).

- Prueba Pearson que permite detectar fugas de corriente eléctrica, ya que desde las diferentes posiciones y centro se envía electricidad y en el caso que se dé un fallo en el revestimiento este deja escapar los electrones y se localiza mediante la diferencia de potencial que se da entre los dos operadores (están distanciados uno de otro unos 7,5 m aproximadamente) que llevan a cabo la operación. Después van acotando el defecto, cuando ambos operarios reciben el mismo potencial es que han encontrado el defecto de revestimiento.
- Método de potenciales paso a paso: Este método consiste en realizar medidas de potencial cada muy poca distancia, alrededor de cada 1 o 2 metros. Se extiende un cable desde la toma de potencial más cercana que mantiene el contacto eléctrico con la tubería. Cuando se da un fallo de revestimiento el potencial va aumentando, es decir, va siendo menos negativo, mientras el operario se va acercando al fallo. Un segundo operario, paralelo al primero, mide la diferencia de potencial entre su electrodo y el primer operario. En el punto donde se da el defecto se apreciará un aumento de la diferencia de potencial indicada.
- Método del gradiente de potencial: Al inyectar corriente al gasoducto, se generan gradientes de potencial en la tierra por donde este está enterrado. En donde se produce un defecto de revestimiento por lo que los gradientes de potencial son medibles en la superficie del suelo. Entonces un operario avanza a lo largo del gasoducto equipado con dos electrodos impolarizables y con un voltímetro de alta sensibilidad. Cuando el operario se aproxime a un defecto, el voltímetro detectará una señal de determinada pulsación por lo que se podrá detectar el fallo e incluso poder evaluar el tamaño de este.

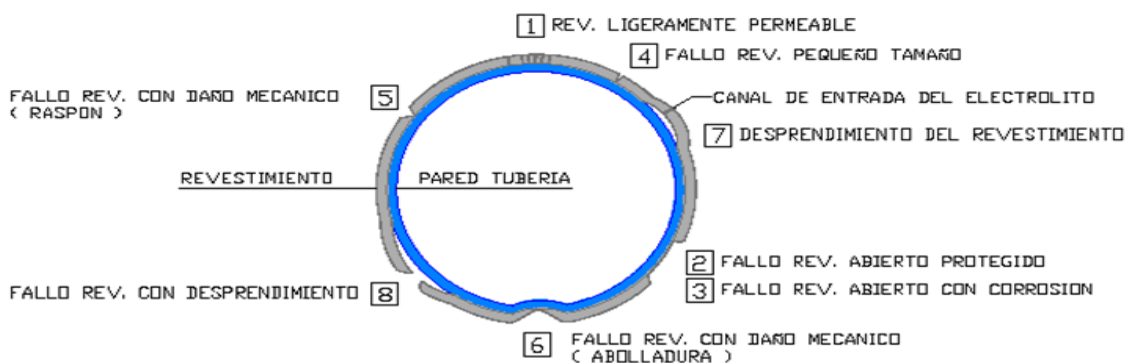


Figura 17: Tipos de fallos de revestimiento

5.3. Protección catódica

La ITC-MIG-5.1 indica que, como complemento de revestimiento externo, todas las canalizaciones enterradas irán provistas de un sistema de protección catódica que asegure un potencial entre la canalización y el suelo que, medido respecto al electrodo de referencia cobre-sulfato de cobre, sea igual o inferior a -0,85V. Este potencial deberá de ser de -0,95V como máximo cuando haya riesgo de corrosión por bacterias sulfato reductoras. A continuación, se muestran los diferentes potenciales dependiendo de las diferentes condiciones ambientales de la ubicación del gasoducto, ya que un mismo potencial no garantiza siempre una protección óptima

Tabla 5: Tabla selección del potencial de protección

Metales o aleaciones	Condiciones ambientales	Potencial de protección: E_p (V)	Potencial límite crítico: E_1 (V)
Acero al carbono, aceros de baja aleación y hierro fundido	Suelos y agua en condición normal	-0.85	-1.20
	Suelos y agua a $40^\circ\text{C} < T < 60^\circ\text{C}$	Interpolación entre E_p a 40°C (-0.65, -0.75, -0.85 o -0.95 V) y E_p para 60°C (-0.95 V)	-1.20
	Suelos y agua a $T > 60^\circ\text{C}$	-0.95	-1,20
	Suelos y agua en condiciones aerobias $T < 40^\circ\text{C}$ con $100 < \rho < 1000 \Omega \text{ m}$	-0.75	-1.20
	Suelos y agua en condiciones aerobias $T < 40^\circ\text{C}$ con $\rho > 1000 \Omega \text{ m}$	-0.65	-1.20
	Suelos y agua en condiciones anaerobias con alta actividad de bacterias reductoras de sulfatos	-0.95	-1.20

Tabla 6: Tabla selección del potencial de protección 2

Metales o aleaciones	Condiciones ambientales	Potencial de protección: E_p (V)	Potencial límite crítico: E_1 (V)
Canalizaciones submarinas Aceros al carbono	Sumergidos en agua de mar	-0,80	-1.10
	Enterrados en sedimentos	-0,90 ^a	-1.10

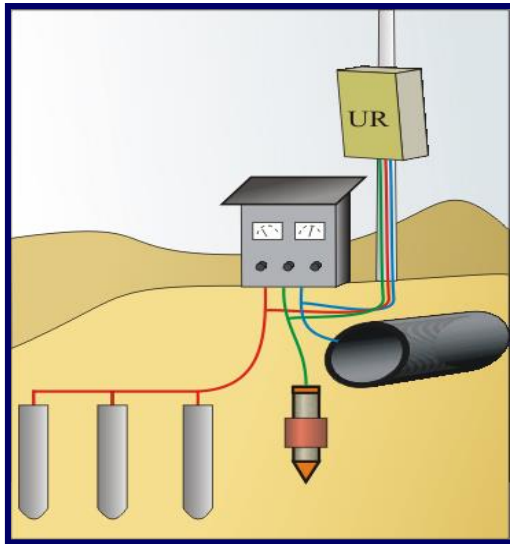


Figura 18: Esquema básico de una EPC monitorizadora

Se comprobará el correcto funcionamiento de la protección catódica, de forma que se controlará el potencial de la canalización con respecto al suelo con una periodicidad anual y los diferentes aparatos y equipos que la conforman de forma trimestral. Los datos que indican el correcto estado de equipos se monitorizan a través de una EPC (.....).

Existen varios tipos de protección catódica, pero la protección que se emplea en gasoducto es la protección catódica por corriente impresa. Por lo tanto, podemos decir que la protección catódica es un sistema de protección activa de protección contra la corrosión que se basa en un sistema de pasivación eléctrica por corriente impresa a canalizaciones enterradas y que su modo de funcionamiento consiste en suministrar una corriente a la canalización para convertirla en un cátodo frente al material del terreno envolvente y prevenir de este modo la oxidación.

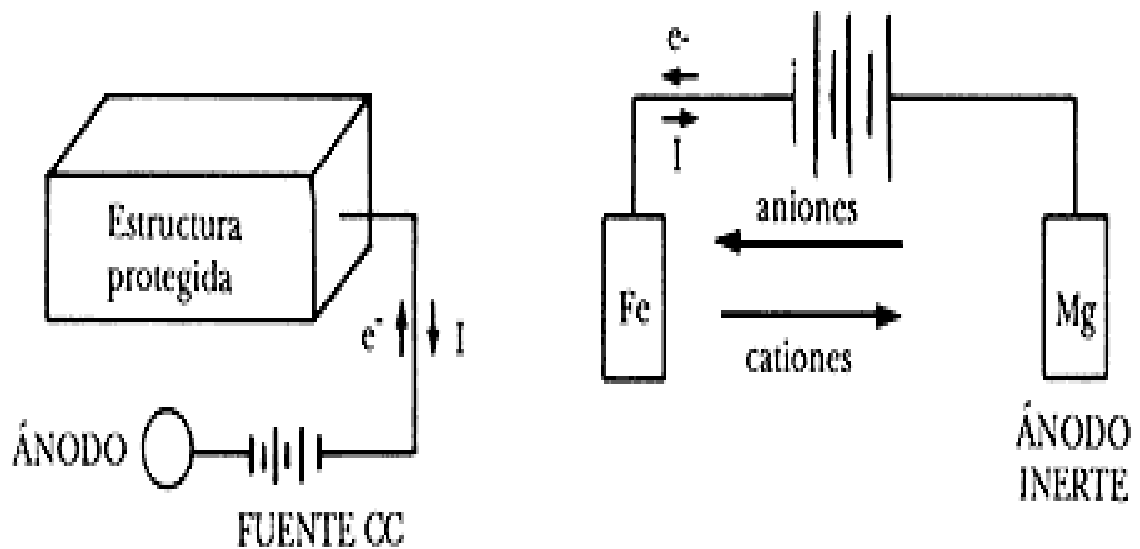


Figura 19: Esquema básico de protección catódica con corriente impresa

Esta protección consta de un cátodo que es el gasoducto a proteger, de un ánodo que es la unidad que recibe la corrosión y el CAPI (Cuadro de alimentación y principal integrado) que es un cuadro eléctrico donde la corriente de la protección catódica se controla y se alimenta desde este cuadro.

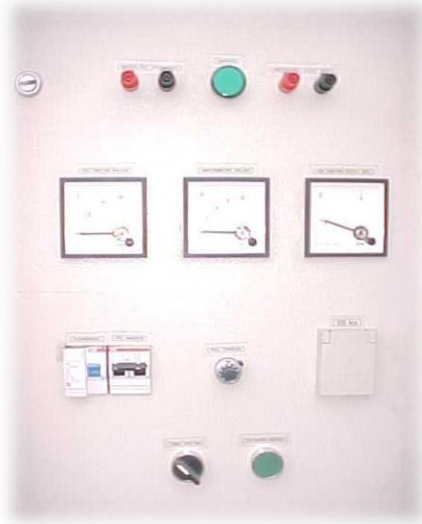


Figura 20: Panel de control del CAPI



Figura 21: Ánodos

5.4. Paso de Pistones Inteligentes

El lanzamiento de los pistones inteligentes, también forman parte del plan de mantenimiento preventivo de la empresa, por lo que su planificación, preparación, lanzamiento y recepción es algo de suma importancia.

Un pistón es un dispositivo en forma de émbolo que se empuja por el interior de las canalizaciones por la acción del gas y roza continuamente con las paredes. Se emplean con diversos propósitos (limpieza, inspección, etc.). Entre los que se tienen, para el mantenimiento preventivo se utilizan:

-Pig inteligente (pistón con sensores para medir varios parámetros del estado interno de la canalización).

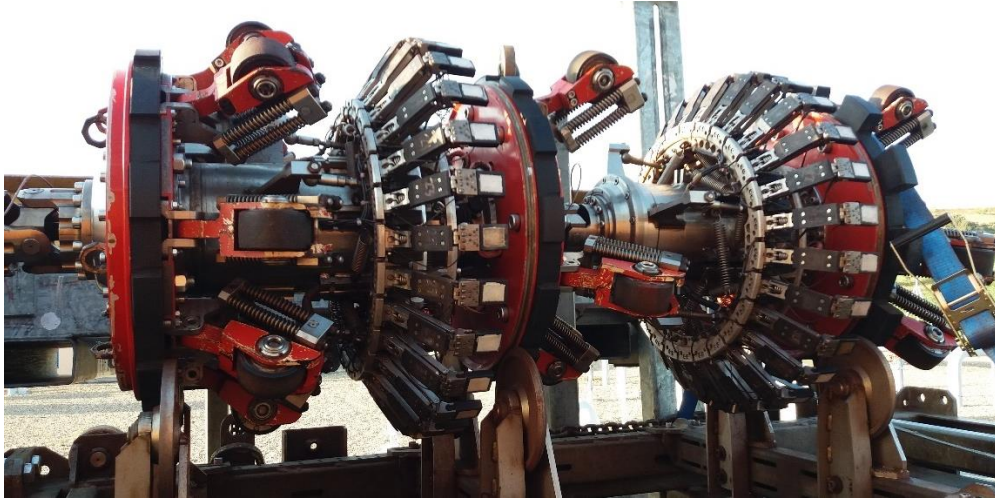


Figura 22: Pistón Inteligente

-Pistón de limpieza: revestido exteriormente de plástico de protección y que se usa para la limpieza interna del gasoducto)



Figura 23: Pistón de limpieza con placa calibrada

El diámetro de la placa calibrada se construye al 95% del diámetro interior más pequeño del gasoducto. Esta acompaña al pistón de limpieza para garantizar durante el paso que no se dan grandes abolladuras en la red.

Dentro de los pistones de limpieza nos podemos encontrar un tipo denominado de espuma o "foam". La ventaja de este tipo es que es capaz de adaptarse totalmente al tamaño y la forma del gasoducto en el cual se lanza.



Figura 24: Pig de foam

-“Cáliper – pig”): para comprobar las características dimensionales internas a lo largo de todo el trazado del gasoducto como pueden ser ovalaciones, abolladuras, aplastamientos, soldaduras, cambios de espesores, juntas aislantes, válvulas etc.



Figura 25: Pistón Cáliper

El empleo de este tipo de dispositivos conlleva la una serie de medidas y precauciones tanto en materia de prevención de riesgos como en materia de medio ambiente. Además, se debe llevar a cabo una coordinación de actividades empresariales de forma eficaz, ya que en esta operación participa también personal contratista y se requiere Recurso Preventivo y permisos de trabajo con riesgo de incendio y explosión entre otros.

Para poder ser utilizado, es decir, “lanzado” primero se debe despresurizar y eliminar el gas en su interior además de llevar a cabo la inertización en la trampa-rascador. La trampa rascador (boca de canalización que permiten la introducción y extracción de elementos de limpieza o inspección en los gasoductos. Consisten en ensanchamientos en los extremos de los gasoductos de transporte y situados en las diferentes posiciones) es la sección por donde se introduce el “pig”.



Figura 26: Trampa rascador típica

Un vez introducido y cerrada la trampa rascador, se conecta con la red de gas y es empujado por este hasta dónde se desee transportar, cuando llega a su destino el

proceso de extracción (recepción) de este es similar, pero siguiendo el procedimiento en sentido contrario (despresurizar, inertizar, abrir la trampa y extraer el dispositivo).

- Medidas de seguridad en el lanzamiento de un “pig”.

Estas son las medidas de seguridad generales para el conjunto de la maniobra:

- Prohibido fumar y encender fuego.
- Señalización de atmósferas explosivas.
- Disponer de extintores de polvo en las proximidades, en número suficiente.
- Delimitar la zona de trabajo.
- Uso de herramientas antideflagrantes.



Figura 27: Cartelería empleada en los accesos donde se llevan a cabo operaciones

- Mantener la ropa libre de grasas y suciedad, para evitar lo máximo el posible riesgo de quemaduras al arder.
- Uso de ropa ATEX durante toda la operación por parte de todo el personal que se encuentre en el interior de zonas clasificadas.
- El personal encargado de la operación de la trampa, deberá llevar mascarillas de filtro (Tipo P3), guantes y gafas de protección ocular, así como ropa desechable. Este tipo de EPIs sólo se emplean en la recepción de los Pig en la posición de recepción. Porque el pig puede llegar a arrastrar residuos que contengan radiación NORM, es decir, radiación de origen natural.



Figura 28: Trabajadores con EPIs equipadas

- El contratista realizará medición de niveles de radioactividad de las herramientas recibidas, es decir, en la recepción.
- Los equipos, vehículos y personas, en lo posible, deberán ubicarse en áreas no clasificadas dentro de la instalación, y en dirección contraria a la que el gas venteado pudiera tomar.
- Mantener libres las vías de evacuación.
- Si el horario se prolonga en horas nocturnas, será necesario disponer de iluminación antiexplosiva, o bien colocar luminarias de tipo hermético, a la distancia de seguridad que estipulen las normas de aplicación.

Previo a los trabajos, y aún durante los mismos, se deberá comprobar que los equipos mecánicos intervinientes en las operaciones estén en óptimas condiciones de seguridad.

- Se dispondrá de plataformas con anclajes seguros que permitan el acceso del personal para la maniobra de las válvulas.
- No se permitirá, en las zonas de trabajo debidamente señalizadas, la presencia de personas ajenas a la ejecución de los trabajos, o que no estén debidamente autorizadas por el responsable de la operación.

- Durante todo el proceso de despresurización, venteo y apertura de las trampas de rascadores, se mantendrá un control continuo de la posible presencia de gas en las zonas de trabajo. Este control se lleva a cabo con un explosímetro, que es un detector portátil de gases inflamables y que en nuestro caso se calibra para el metano y en cuya medición se muestra el porcentaje en volumen del gas respecto al total de la mezcla y el LIE que es el límite inferior de explosividad.



Figura 29: Explosímetro de medida continua

- Ante la posibilidad de presencia de pirofosfóricos a la llegada de los pistones se inertizará con Nitrógeno la trampa.

- Requisitos medioambientales en el lanzamiento de un “Pig”

-En todo momento se procurará aplicar las mejores prácticas posibles.

-Se procurará, en todo momento, que la cantidad de gas venteado sea la mínima posible, ajustándose al procedimiento elaborado.

-Se asegurará que por parte de la empresa encargada de la operación de que se dispone y ejecuta un procedimiento de gestión de sus residuos.

-Se dispondrá de recipientes en los lugares de trabajo para la recogida selectiva de residuos, se realiza una toma de muestras, se analizan en un laboratorio especializado en busca de presencia de radioactividad natural y posteriormente se lleva a cabo su correcto tratamiento conforme a la autorización adecuada.



Figura 30: Recipientes recogida de residuos

-Disponer en el lugar de trabajo, de la ficha de actuación ante derrames, así como material adecuado (sepiolita, serrín...)



Figura 31: Suelo forrado para proteger el suelo de posibles derrames de material

-La limpieza del pistón se realizará en el lugar de recepción y en un lugar preparado para ello para evitar la menor contaminación posible.

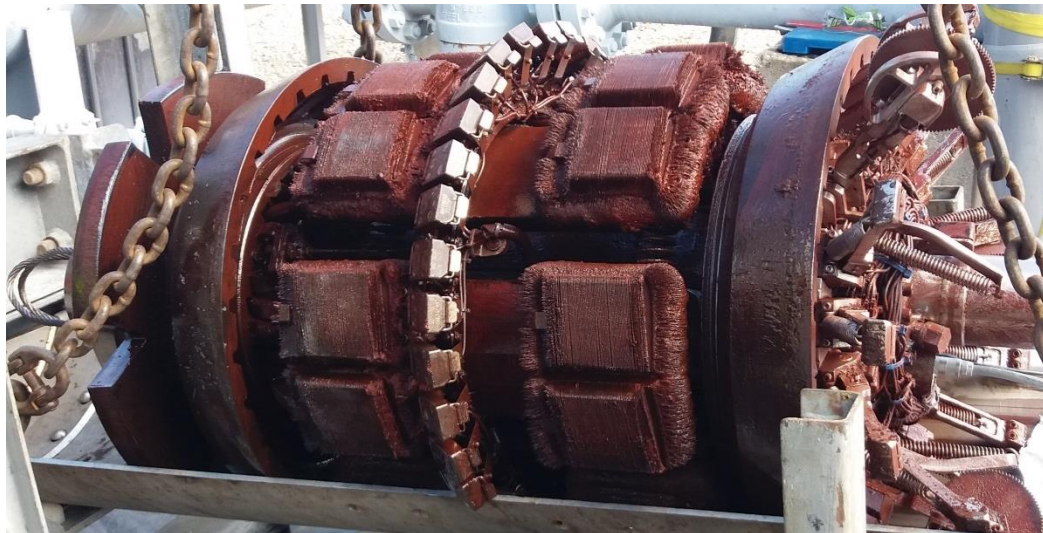


Figura 32: Suciedad con la que se encuentra un PIG al lugar de la recepción



Figura 33: Lugar de trabajo preparado para la limpieza del pig

Una vez finalizada la operación, se obtiene un informe con los datos obtenidos por el pistón o por la actividad realizada. Con ello se interpreta y se toman las acciones adecuadas a llevar a cabo. Cada día la exactitud y la precisión con la que se obtienen las anomalías es mayor.

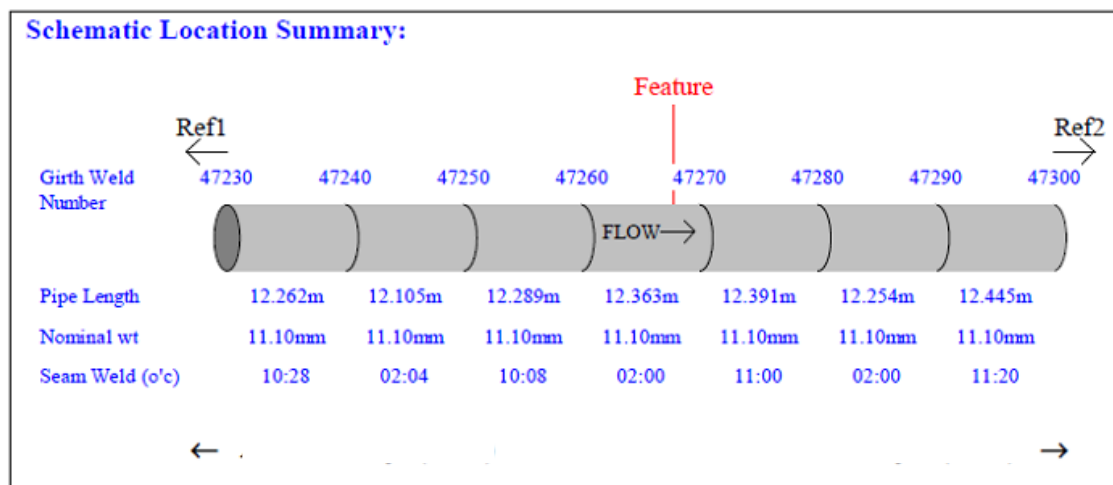


Figura 34: Imagen descriptiva de la dirección del PIG

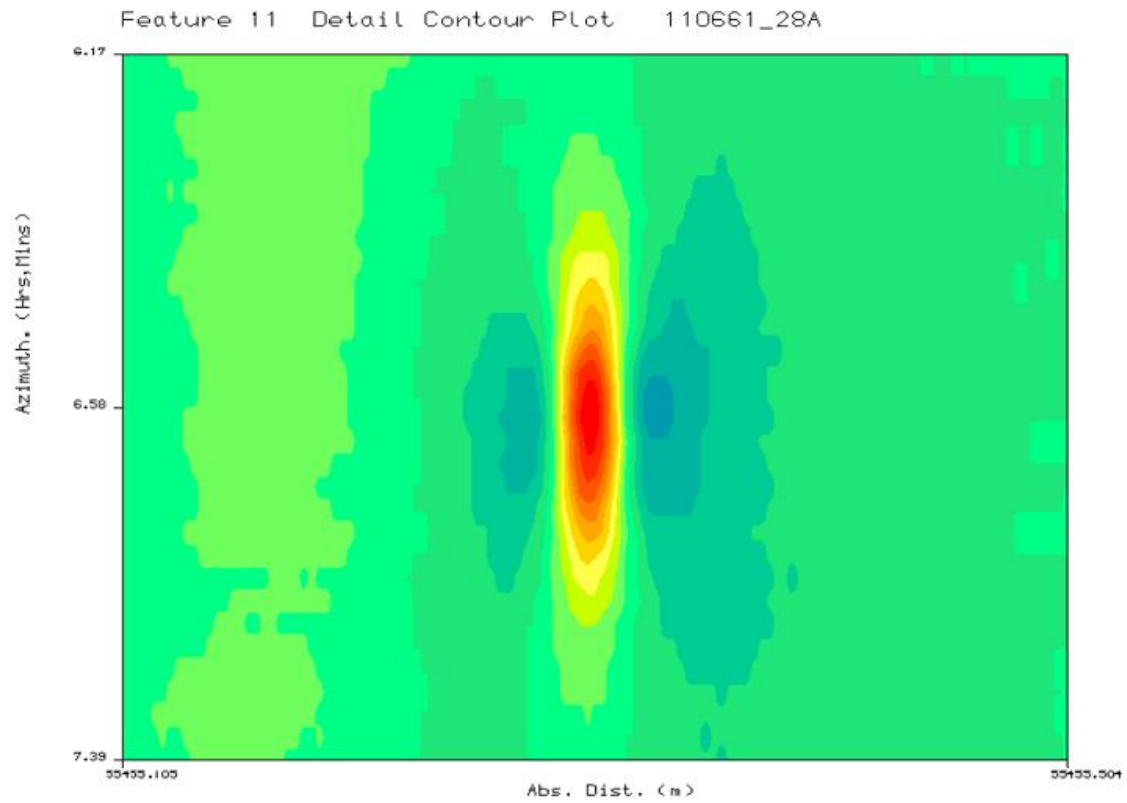


Figura 35: Interpretación de los datos dados por el pistón sobre la precisión del fallo



Figura 36: Daño en la integridad del gasoducto

6. Conclusiones

Una vez finalizada la compilación de la información, esta fue consultada por los técnicos de prevención, calidad y medio ambiente y por diferentes empleados de la compañía. Desde su punto de vista, se cubrían todos los aspectos que se esperaban desde un primer momento.

A continuación, se comenzó a enviar y a distribuir a los diferentes trabajadores que podrían llevar a cabo tareas de mantenimiento preventivo en plazo de tiempo intermedio. Cuando nos comunicaron que ya habían leído y asimilado el documento, se programó y se llevo a cabo una pequeña reunión dónde pudimos comprobar la eficacia de esta, ya que durante la reunión los trabajadores que la habían consultado tenían soltura a la hora tratar diferentes términos y de explicar el contenido de esta.

Por lo que, a la conclusión que se ha llegado es que el TFM ha cumplido su objetivo de ser capaz de sintetizar y transmitir información de forma eficiente, convirtiéndose este en un documento interno susceptible de ser entregado a todas personas que vayan a realizar tareas de mantenimiento preventivo de gasoducto.

7. ANEXO



CONTROL ASISTENCIA Y ENTREGA FORMACION-INFORMACION

DENOMINACIÓN: Mantenimiento preventivo de los gasoductos: Vigilancia programadas, Protección catódica, paso de Pistones Inteligentes e Inspecciones
CÓDIGO: **FECHA DE INICIO:** **FECHA FIN:**
FORMADOR:

FECHA: **MAÑANA/TARDE:** **HORARIO: DE H A H** **Nº HORAS:**

IMPARTIDO POR: Enagás **LUGAR:** CT XXX

DATOS DE LOS ASISTENTES

Nº EMPL.	APELLIDOS y NOMBRE	N.I.F.	CENTRO DE TRABAJO	E-mail	FIRMA	OBSERVACIONES
			CT XXX			
			CT XXX			
			CT XXX			
			CT XXX			
			CT XXX			

Firmado:

OBSERVACIONES GENERALES:

8. Bibliografía

-Grupo Enagás (2021). Acta de acuerdo de constitución del Servicio de Prevención Mancomunado del Grupo Enagás.

-Grupo Enagás (2022). Curso de Corrosión y Protección Catódica.

-Grupo Enagás (2010). Informe Transporte de Catas.

-Grupo Enagás (2009). Instrucción de Seguridad General (IST-G).

-Grupo Enagás (2022). Manual de Transporte.

-Grupo Enagás (2022). Protocolos de Desarrollo del Manual de Transporte (PDMT1, 2, 3 y 4).

Grupo Enagás (2012). Revista azul y verde, nº11.

-Grupo Enagás (2021). Servicios de Emergencias de la Dirección de Transporte.

-Ministerio de Industria (Última modificación: 1994). Reglamento de redes y acometidas de combustibles gaseosos- Instrucción Técnica Complementaria- MIG-5.1- Canalización de Transporte y Distribución de Gas en Alta Presión B.

Webs:

-Web Corporativa: <https://www.enagas.es/es/> Última fecha de consulta: 2/08/2022

-Web interna: SAP NetWeaver Portal Última fecha de consulta: 27/08/2022

Figuras:

Elaboración propia y archivo interno de Enagás