

**UNIVERSIDAD MAYOR, REAL Y PONTIFICIA DE
SAN FRANCISCO XAVIER DE CHUQUISACA**

VICERRECTORADO

CENTRO DE ESTUDIOS DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN

FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA



**ELABORACION DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO Y
CORRECTIVO AL GASODUCTO QHORA QHORA – ARANJUEZ**

**TRABAJO EN OPCIÓN A DIPLOMADO EN TRANSPORTE,
ALMACENAMIENTO Y DISTRIBUCIÓN DE HIDROCARBUROS**

MARIBEL GARISTO CHUNGARA

Sucre - Bolivia

2023

CESIÓN DE DERECHOS

Al presentar este trabajo como requisito previo a la obtención del Diplomado en Transporte, Almacenamiento y Distribución de Hidrocarburos de la Universidad Mayor, Real y Pontificia de San Francisco Xavier de Chuquisaca, autorizo al Centro de Estudios de Posgrado e Investigación o a la Biblioteca de la Universidad, para que se haga de este trabajo un documento disponible para su lectura, según normas de la Universidad.

También cedo a la Universidad Mayor, Real y Pontificia de San Francisco Xavier de Chuquisaca, los derechos de publicación de este trabajo o parte de él, manteniendo mis derechos de autor hasta un periodo de 30 meses posterior a su aprobación.

Maribel Garisto Chungara

Sucre, 1ro de diciembre de 2023

DEDICATORIA

La presente monografía va dedicada a mis padres que me han apoyado en cada paso que doy, por su perseverancia con la vida me han mostrado que si uno quiere lo puede lograr, Freddy Cristobal Garisto Poma y Marina Calizaya de Garisto, a mis hermanos Julieta. Williams, Nitza y Mirian, mis sobrinos y sobrinas, gracias a todo mi entorno familiar soy quien soy hoy en día, a ellos les debo y agradezco de corazón.

AGRADECIMIENTOS

A Dios por otorgarme salud y bienestar en todo momento.

A mis padres por ser el pilar fundamental para este logro, por su apoyo incondicional, su paciencia, el amor que me brindan día a día, la perseverancia que tienen en la vida, por mostrarme y formarme como una persona de bien y sobre todo por brindarme la fortaleza y esperanza de seguir avanzando siempre adelante.

A mi hermano, hermanas, mis sobrinos y sobrinas que siempre me demuestran su apoyo incondicional y su gran amor.

A mi compañero de vida Joseph, mi complemento quien va apoyando día a día en mis logros, mis victorias, que da aliento cuando yo la pierdo, que me brinda amor incondicional.

A la Universidad Mayor Y Pontificia De San Francisco Xavier De Chuquisaca, en especial con la Facultad de Ciencia y Tecnología, por mi formación académica y formarme profesionalmente.

A los docentes de la Facultad De Ciencia Y Tecnología, de la carrera Ing. Petróleo Y Gas Natural por su labor de enseñanza, su paciencia a con los estudiantes.

RESUMEN

La presente Monografía describe la “Elaboración De Un Plan De Mantenimiento Preventivo Y Correctivo Al Gasoducto Qhora Qhora – Aranjuez”, con la finalidad de reducir diversos problemas existentes en el ducto, así mismo garantizar un adecuado funcionamiento de todo el ducto incluyendo sus accesorios, válvulas, cámaras, etc. De igual manera brindar un servicio confiable, seguro y sin interrupciones, ni exponer a la población al peligro garantizando la disponibilidad y confianza de la tubería.

Para hacer cumplir los diferentes objetivos plasmados en el presente trabajo se realiza un enfoque a toda la cañería y los componentes de la misma para así realizar un plan de mantenimiento y la identificación del tipo de mantenimiento preventivo y correctivo, con la que se realizara el proyecto, así mismo la secuencia de Actividades de Mantenimiento Preventivo a ser ejecutadas sobre cada uno de los diferentes que componen del sistema de transporte, a lo largo de un año calendario, según lo dispuesto en los Requerimientos Mínimos de Mantenimiento. También se efectuara la identificación de problemas suscitadas en su totalidad de la cañería como ser: los daños y fallas en el revestimiento, daños en la estructura tubular (procesos corrosivos, daños mecánicos, pérdida de espesor de la pared. Abolladuras) y daños en las cámaras y válvulas.

Para solución de los diferentes problemas identificados se ejecutaran los siguientes trabajos: cambio de revestimiento (retirar el recibimiento dañado) en tuberías que muestren un espesor inferior al requerimiento de espesor mínimo, limpieza de la tubería de acero, recubrimiento del ducto (pintado con primer y recubrimiento con cintas), relleno y compacto de zanja, colocado de señalizaciones, colocado de soportes, limpieza de cámara, limpieza del área de trabajo, deshierbe, así como se describe los equipos, herramientas, materiales, mano de obra en general todo esto se realizara según la Normativa ASME B31.8.

INDICE DE CONTENIDO

DEDICATORIA	i
AGRADECIMIENTOS	ii
RESUMEN.	iii
INDICE DE CONTENIDO.....	iv
ÍNDICE DE TABLAS	vi
ÍNDICE DE FIGURAS.....	vi
CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. ANTECEDENTES	1
1.1.1. Planteamiento del problema	2
1.2. OBJETIVOS	2
1.2.1. Objetivo General	2
1.2.2. Objetivos Específicos	3
1.3. JUSTIFICACIÓN	3
1.3.1. Justificación Práctica.....	3
1.3.2. Justificación Teórica.....	4
1.4. METODOLOGÍA	4
1.4.1. Técnicas de Investigación.....	4
1.4.2. Instrumentos de Investigación	4
CAPÍTULO II: DESARROLLO.....	5
2.1. MARCO TEÓRICO (CONCEPTUAL Y CONTEXTUAL)	5
2.1.1. Marco Conceptual	5
3.1.2. Gas Natural en Bolivia	7
3.1.2.1. La Importancia del Gas Natural en Bolivia	7
3.1.3. Espesor De La Tubería	9
3.1.4. Distribución De Gas Natural Por Redes	11
3.1.4.1. Elementos Constituyentes Del Transporte Y Distribución Del Gas Natural	12
3.1.5. Tipos De Instalaciones	15
3.1.6. Definición De Gasoducto	16
3.1.6.1. Elementos que Conforman un Gasoducto.....	16
3.1.7. Proceso de Corrosión en Gasoductos.....	16

3.1.8.	Mantenimiento De Un Gasoducto	17
3.1.8.1.	Vigilancia Periódica de los Gasoductos.....	17
3.1.8.2.	Patrullaje del Gasoducto.....	17
3.1.8.3.	Estudio de Fugas	17
3.1.8.4.	Recubrimientos Protectores.....	18
3.1.8.5.	La Corrida de Herramienta.....	18
3.1.8.6.	Derecho de Vía (DDV).....	18
3.1.9.	Tipos De Mantenimiento	19
3.1.9.1.	Mantenimiento Correctivo.....	19
3.1.9.2.	Mantenimiento Preventivo.	19
3.1.10.	Marco Contextual	20
3.1.10.1.	Antecedentes Del Gasoducto.....	20
3.2.	INFORMACIÓN Y DATOS OBTENIDOS.....	23
3.2.2.	Plan De Mantenimiento Del Gasoducto Qhora Qhora – Aranjuez	23
3.2.4.	Actividades de mantenimiento correctivo del Gasoducto Qhora Qhora – Aranjuez ..	39
3.2.5.	Diagrama De Flujo Del Mantenimiento Preventivo Y Correctivo	43
3.3.	ANÁLISIS Y DISCUSIÓN.....	44
CAPÍTULO III: CONCLUSIONES		47
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS		48
ANEXOS.....		49
Anexo 1: Mantenimiento en cruces de caminos.....		49
Anexo 2: Mantenimiento de Cámaras y Válvulas de Venteo.....		49
Anexo 3: Cambio de Soportes 2” y Reposición de Soportes en Mal estado.....		50
Anexo 4: Entierro de Tubería en Zonas con Urbanizaciones Consolidadas		50
Anexo 5: Instalación de Protección Catódica en Tramos Enterrados en Zona Urbanizada		51

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 <i>Componente de Gas en Bolivia</i>	8
Tabla 2 <i>Presiones de distribución de red</i>	11
Tabla 3 <i>Velocidad de flujo de corrida de PIG</i>	26
Tabla 4 <i>Herramientas de limpieza y calibración</i>	29
Tabla 5 <i>Materiales y Equipos</i>	29
Tabla 6 <i>Factores de diseño (fdis) para construcciones de ductos de acero, de acuerdo al tipo de instalación por donde atraviesa</i>	32
Tabla 7 <i>Factor de diseño por temperatura (fTEM)</i>	33
Tabla 8 <i>Factor de junta longitudinal (fJL)</i>	33
Tabla 9 <i>Valores de Factor de Diseño (fdis)</i>	34
Tabla 10 <i>Parámetros de Derecho de Vía</i>	36
Tabla 11 <i>Combinaciones de colores de fondo y colores de letras</i>	38
Tabla 12 <i>Separación Máxima entre Soportes de Ductos</i>	40

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 <i>Composición del Gas Natural</i>	5
Figura 2 <i>City Gate Monteaquedo</i>	12
Figura 3 <i>Registro Fotográfico EDR'S</i>	13
Figura 4 <i>Puente de Regulación</i>	14
Figura 5 <i>Gasoducto Qhora Qhora –Aranjuez</i>	21
Figura 6 <i>Programa progresivo de limpieza</i>	28
Figura 7 <i>Lastrado de Tubería</i>	35
Figura 8 <i>Diagrama de flujo según normativa ASME B 31.8</i>	43

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

1.1. ANTECEDENTES

Muchas empresas actualmente se han visto en la necesidad de crear sistemas de mantenimiento, debido al incremento de actividades, pérdidas de capital, paro de equipo, etc., algunas empresas desarrollan con eficiencia este tipo de procedimientos, mientras otras no han establecido el cumplimiento eficaz de los planes de mantenimiento elaborados bajo estos sistemas que forman parte de sus objetivos.

“El enfoque moderno de mantenimiento muestra tres niveles, primer nivel se alcanza cuando se tiene claro el equipo a intervenir, el segundo nivel se logra cuando existen procedimientos claros que establecen la secuencia de actividades que se llevan a cabo para garantizar que el equipo seguirá prestando su función eficazmente, el tercer nivel se alcanza cuando la empresa cuenta con una clara estructura organizacional” es uno de los trabajos de investigación de para el gasoducto de Apiay Bogota.

ENDE con el objetivo de ampliar la capacidad de generación, regular el voltaje y minimizar el costo de transmisión en el Sistema Interconectado Nacional (SIN), decidió ampliar la central Termoeléctrica de Aranjuez con la instalación de un turbogenerador a gas de 20 MW.

Para la operación de esta turbina se construyó un ramal de gasoducto de 9,5 Km de longitud desde Qhora Qhora (YPFB) hasta Aranjuez (ENDE), la capacidad de transporte es de 500 mil pies cúbicos (MPC) y una presión de trabajo de 900 psi. (Revista ENDE, 2006)

Un mantenimiento adecuado, tiende a prolongar la vida útil, obtener un rendimiento aceptable del mismo durante más tiempo y reducir el número de fallas, todo esto motiva al investigador del presente proyecto a realizar la elaboración de un plan de mantenimiento en el cual se pretende mostrar la necesidad e importancia de dicho trabajo para el buen funcionamiento del ducto.

1.1.1. Planteamiento del problema

La planta generadora de electricidad ENDE Guaracahi se encuentra ubicado en Sucre, el cual cuenta con el gasoducto Qhora Qhora – Aranjuez que tiene una longitud de 9,5 Km y un diámetro de 8” (pulgadas), para ello se realizó una inspección, se pudo observar que el 30,7% (2932 metros) se encuentra enterrado y 69.3 % (6710 metros) aéreo (visto) del gasoducto.

La problemática que se presenta el gasoducto, tanto en tubería enterada, como aérea (visto) es la presencia de erosiones en algunos tramos por efecto de las lluvias y ponen en descubierto al gasoducto, también existe deslizamiento de terrenos, daños por terceros, derrumbes que generan abolladuras, desgastes del material tubular ocasionando disminución en el espesor de la tubería, también se pudo observar que también existe ciertos tramos se encuentran en el suelo provocando que exista corrosión, soportes de suspensión, falta de lastrado de cruce de calles y avenidas a causa del crecimiento poblacional de la ciudad de sucre ya que el gasoducto atraviesa la ciudad, también se pudo observar que existe falta de pintura, posibles fugas, posibles defectos externos en uniones soldadas, deformaciones, contacto físico con cuerpos y estructuras ajenas al ducto.

Como objeto de estudio de este proyecto se tomará el tramo El Tejar – Azari, donde se identificó mayor crecimiento poblacional y se pudo observar que el gasoducto pasa cerca de viviendas, provocando que exista riesgo para los pobladores de la zona, ya que con la construcción de nuevas casas implica que en algunos lugares se remueva la tierra con retroexcavadora para nivelarlo, provoca que algunos tramos de la tubería estén en descubierto, con lo cual se evidencia la existencia de abolladuras entre otros. Es de vital importancia la implementación del mantenimiento preventivo y correctivo al gasoducto ya que ayuda a mantener en condiciones óptimas al ducto para su funcionamiento.

1.2. OBJETIVOS

1.2.1. Objetivo General

Elaborar un plan de mantenimiento preventivo y correctivo al gasoducto Qhora Qhora – Aranjuez

1.2.2. Objetivos Específicos

- Describir la situación actual del gasoducto y su forma de operación del gasoducto Qhora Qhora - Aranjuez.
- Realizar un análisis de las fallas recurrentes a través de un estudio histórico del ducto para la elaboración del plan de Mantenimiento.
- Evaluar los procedimientos adecuados para el mantenimiento preventivo y correctivo al gasoducto.
- Elaborar el plan de Mantenimiento Preventivo y Correctivo, de acuerdo a la situación actual del ducto Qhora Qhora – Aranjuez.

1.3. JUSTIFICACIÓN

La presente investigación pretende realizar un plan de mantenimiento preventivo y correctivo en el gasoducto Qhora Qhora – Aranjuez,

De acuerdo a una investigación realizada al gasoducto Qhora Qhora – Aranjuez, se pudo evidenciar que esta línea de red primaria tiene diferentes problemas que deben ser solucionados por medio de un mantenimiento preventivo y correctivo.

Aspecto que será desarrollado en el proyecto, ya que este es el propósito del mismo.

1.3.1. Justificación Práctica

La presente investigación que pretende elaborar un plan de mantenimiento preventivo y correctivo al gasoducto Qhora Qhora – Aranjuez, dicho mantenimiento ayudara de gran manera al funcionamiento correcto y eficiente del ducto, tales como: disminuir la necesidad de realizar mantenimientos correctivos, costos, tiempos de espera por reparación, aumentar la vida útil de la tubería.

1.3.2. Justificación Teórica

Con el desarrollo de la monografía se hizo un enfoque a lo aprendido en el módulo de transporte de hidrocarburos. Como parte del pensul académico cursado en Transporte de Gas I y Transporte de Gas II, Evaluación de Proyectos, Legislación de hidrocarburos, Seguridad Industrial y Metodología de la investigación. Lo mencionado permite la aplicación en el estudio mencionado.

1.4. METODOLOGÍA

La presente monografía es una investigación propositiva, con un enfoque cuantitativo. El enfoque cualitativo por lo general “no se prueban hipótesis, estas se generan durante el proceso y van refinándose conforme se recaban más datos o son un resultado del estudio. (SAMPIERI, 2014)

1.4.1. Técnicas de Investigación

La información necesaria para el desarrollo de la presente monografía es proporcionado a través de ENDE Guaracachi mediante datos técnicos, informes, recopilación documental de libros, publicaciones, normas, manuales, para ello se realizó una entrevista con el encargado de mantenimiento de la planta Aranjuez para la obtención de los datos del Gasoducto Qhora Qhora - Aranjuez.

1.4.2. Instrumentos de Investigación

La información obtenida se atribuye a los datos técnicos que aparte de la entrevista, se captar en revisiones bibliográficas, sitios y páginas web, reportes de mantenimientos.

CAPÍTULO II: DESARROLLO

2.1. MARCO TEÓRICO (CONCEPTUAL Y CONTEXTUAL)

2.1.1. Marco Conceptual

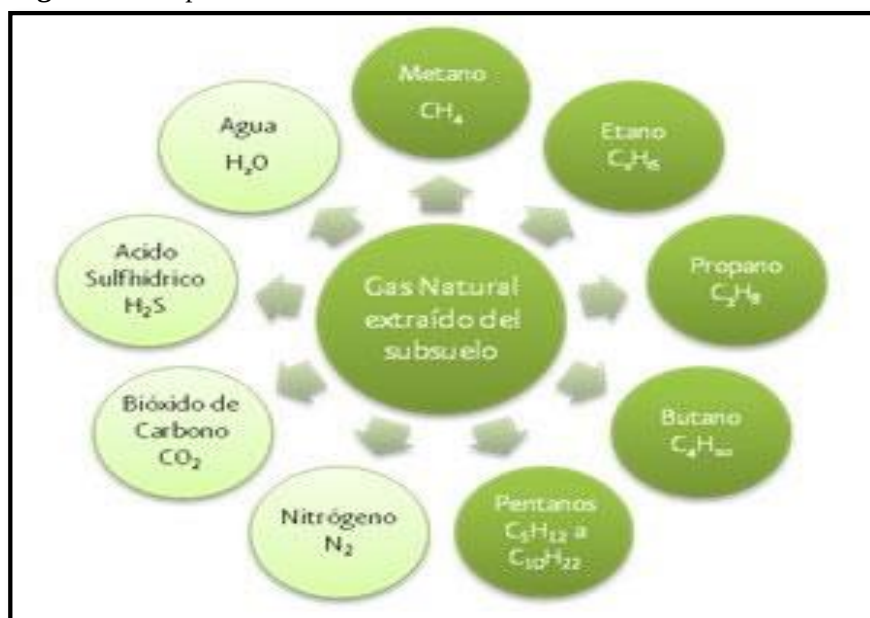
2.1.1.1. Gas Natural

El gas natural es una mezcla de hidrocarburos livianos en estado gaseoso, que en su mayor parte está compuesta por metano, etano, y en menor proporción por propano, butanos, pentanos e hidrocarburos más pesados. Si el contenido de hidrocarburos de orden superior al metano es alto se le denomina gas rico, de lo contrario se conoce como gas seco. Las principales impurezas que puede contener la mezcla son vapor de agua, gas carbónico, nitrógeno, sulfuro de hidrógeno y helio, entre otros.

2.1.1.2. Composición Del Gas Natural

3. En la figura 1 se observar la composición de Gas Natural extraído de subsuelo es una combinación de hidrocarburos y otros gases.

Figura 1 Composición del Gas Natural



Fuente: Extraído de Análisis Y Diseño de Una Red De Gas Natural

La composición del gas natural, varía del campo que procede, durante la vida productiva del campo y sobre todo varía de acuerdo al tratamiento posterior que se le ha realizado. El gas dentro del campo es una mezcla que va desde el metano C1 pasando por C2, C3, C4, C5, C6 y algo de C7+ heptano. También incluye otros componentes que se encuentran en menor cantidad y considerados indeseables como son: el Nitrógeno N₂, dióxido de carbono CO₂, agua H₂O y en algunos casos ácido sulfhídrico (H₂S), este último muy corrosivo y totalmente indeseable para la petroquímica y felizmente no se encuentra en nuestros campos de Bolivia, lo que supondrían tratamientos adicionales al gas para materia prima petroquímica y un aumento en su precio. (Espejel, 2023)

3.1.1. Factores Que Influyen En El Transporte De Gas Por Tubería

Para adecuar el gas hacer transportado se tiene en cuenta los siguientes factores:

3.1.1.1. Presión y Temperatura.

Afecta de manera proporcional a la viscosidad del fluido, puesto que al incrementar la temperatura a una presión menor a 2000 psia, la viscosidad aumenta, debido a que las moléculas tienden a unirse. De forma contraria, si la temperatura disminuye a una presión mayor a 2000 psia la viscosidad disminuirá.

3.1.1.2. Compresibilidad del gas (C_g)

Este factor es muy importante en el transporte de gas, pese a las distancias, se requiere la compresión del gas a presiones elevadas. Esta se puede realizar con la finalidad de lograr las presiones requeridas, tomando en consideración: La presión de entrada y salida, la temperatura de entrada y salida, y el peso molecular del gas (Giles R, 1969).

3.1.1.3. Formación de Hidratos.

Los hidratos son compuestos sólidos que se forman como cristales. Se forman por una reacción entre el gas natural, (C₁, C₂ y CO₂) y el agua. Esto causa el congelamiento del gas natural, reduciendo el área del flujo y en algunas situaciones taponeando el flujo, esto ocurrirá si el punto de rocío es mayor a 7 lbs/MMPCN, y otros.

3.1.1.4. Formación de Líquidos.

La formación de líquidos ocurre cuando los componentes más pesados del gas natural alcanzan su punto de rocío y condensan depositándose en el interior de la tubería, ocasionando grandes pérdidas de presión, disminución del caudal, y otros factores negativos en el transporte.

3.1.2. Gas Natural en Bolivia

El gas natural es un recurso energético constituyéndose en un factor importante de desarrollo de nuestro país. El gas natural en Bolivia no fue relevante hasta el descubrimiento de reservorios con cantidades significantes en la zona de chaco boliviano por la empresa Gulf Oil.

Bolivia tiene importantes reservas de crudo y especialmente de Gas Natural ubicándose como uno de los países con mayor reserva gasífera en el mundo. Además de sus reservas, Bolivia tiene una localización estratégica para la provisión de Gas Natural a sus países vecinos.

3.1.2.1. La Importancia del Gas Natural en Bolivia

En la tabla 1 se puede observar la composición de Gas Natural en Bolivia es una combinación de hidrocarburos y otros gases.

Tabla 1 *Componente de Gas en Bolivia*

X	Rio Grande	Sirari	Vibora	Carrasco	San Roque	Vuelta grande	Porvenir	Colpa	La vertiente
N₂	1,85	0,583	2,546	0,310	1,540	1,790	1,310	0,910	2,210
CO₂	0,941	0,079	0,623	5,790	0,010	0,060	0,110	1,300	0,060
C1	92,316	87,047	85,803	86,110	88,010	86,550	86,550	86,490	86,920
C2	4,502	7,134	6,343	7,230	7,330	9,140	6,970	7,200	6,580
C3	0,349	3,088	3,103	0,510	3,200	0,930	3,240	2,850	2,860
I-C4	0,002	0,431	0,372	0,020	0,400	0,030	0,980	0,310	0,350
I-N4	0,010	0,842	0,919	0,010	0,830	0,030	0,440	0,490	0,660
I-C5	0,005	0,260	0,215	0,010	0,190	0,010	0,150	0,190	0,150
I-N5	0,007	0,233	0,252	0,010	0,180	0,000	0,170	0,140	0,130
C6	0,003	0,184	0,141	0,000	0,100	0,000	0,060	0,090	0,060
C7+	0,015	0,117	0,106	0,000	0,070	0,000	0,020	0,030	0,020
H₂S	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Total	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,000	100,00	100,00
P.M.	17,285	19,042	19,275	18,881	19,010	17,845	18,953	18,935	18,69
G_E	0,597	0,658	0,665	0,652	0,656	0,616	0,654	1,654	0,645

Fuente: Extraído de archivos de la página oficial de YPFB Transporte

El gas natural se destaca por ser un recurso de carácter estratégico en la región latinoamericana y a nivel mundial, un posicionamiento muy importante en la matriz energética frente a otro tipo de combustible y fuentes de energía constituyéndolo además en el recurso de exportación más importante del país.

La importancia del gas natural en el país se vincula a la cantidad de reservas probadas y probables que a la fecha han permitido convertir a Bolivia en un polo de exportación de este energético, lo que le permitirá utilizar sus excedentes en beneficios de la población, a través de las regalías, impuestos y patentes.

Estos efectos económicos de la utilización de Gas Natural son de especial importancia para Y.P.F.B y el estado, restableciéndose como potencialidades en el mediano plazo.

- Disminución paulatina de la subvención al GLP y otros combustibles importantes.
- Incremento de potencial de exportación de los combustibles liberados.
- Reducción de los costos de operación industrial y vehicular.

- Incremento de las recaudaciones fiscales directas (IDH, regalías e IEHD) e indirectas (IVA, IT, IUE, GA). De Ampliación de la cobertura energética promoviendo la integración nacional y la equidad productiva.

De igual manera en relación a la distribución y uso de este combustible, de acuerdo a la CPE la Distribución de Gas Natural por redes se constituye en un servicio público para beneficio de toda la población.

En lo referido al tema ambiental una de las más grandes preocupaciones del planeta como es bien sabido, es la reducción de gases de efecto invernadero causantes del calentamiento global y generando entre otros, por uso masivo de combustibles fósiles, que generan excedentes de CO₂ a la atmosfera. El cambio a la matriz energética permite la reducción de altos porcentajes CO₂, óxido de azufre SO₂ o nitrógeno NO₂ que se generan por la convicción en la industria, el parque automotor e inclusive el consumo doméstico por el uso del diésel, leña, gasolina y otros. (NOTAS YPFB, 2021)

3.1.3. Espesor De La Tubería

El mínimo espesor de pared para cualquier tubo sometido a presión interna o externa está en función de:

- El esfuerzo permisible para el material del tubo.
- Presión y temperatura de diseño.
- Especificación del acero utilizado.
- Diámetro de diseño del tubo.
- Tipo de junta de la tubería.
- Diámetro de la corrosión y/o erosión.
- Clasificación del área.
- Construcciones existentes a lo largo de la ruta.

Además, el espesor de pared de un tubo sometido a presión externa está en función de la longitud del tubo, pues esta influye en la resistencia al colapso del tubo. El mínimo espesor de pared de cualquier tubo debe incluir la tolerancia apropiada de fabricación.

3.1.3.1.Resistencia a la fluencia.

Es la resistencia a la cual el material exhibe una deformación especificada limitante permanente, o produce una elongación total especificada bajo la carga y esta expresada en libras por pulgadas cuadrada (PSIG). La deformación especificada limitante o la elongación, generalmente se expresan como un porcentaje de la longitud medida, según lo define la norma ASME B31.8 párrafo 804.231.

3.1.3.2.Resistencia a la tracción.

Es la mayor tracción unitaria (referida a la sección transversal original) que un material puede soportar antes de la falla del mismo y esta expresada en libras por pulgada cuadrada (PSIG), según lo define la norma ASME B31.8 párrafo 804.232.

3.1.3.3.Tensión mínima especificada de fluencia (SMYS).

Es la mínima resistencia a la fluencia descrita por la especificación bajo la cual adquiere la tubería del fabricante, y esta expresada en libras por pulgada cuadrada (PSIG), según lo define la norma ASME B31.8 párrafo 804.233.

3.1.3.4.Resistencia Mínima especificada de tracción.

Es la mínima resistencia a la tracción descrita por la especificación bajo la cual se adquiere la tubería del fabricante y esta expresada en libras por pulgada cuadrada (PSIG), según lo define la norma ASME B31.8 párrafo 804.234.

3.1.3.5.Elongación mínima especificada.

Es la elongación mínima (expresada en porcentaje de la longitud medida) en el espécimen de prueba de tracción, descrita por la especificación bajo la cual se adquiere el material del fabricante, según lo define la norma ASME B31.8 párrafo 804.235.

3.1.4. Distribución De Gas Natural Por Redes

La tabla 2 muestra el sistema de distribución de Gas Natural que opera a diferentes presiones.

La presión de las redes podemos indicar en la siguiente tabla. (NORMAS RAN ANH, 2015)

Tabla 2 *Presiones de distribución de red*

TIPO DE PRESION	(BARES)
Alta Presión	Mayor a 19 bar
Alta Presión C	4 bar a 19 bar
Mediana Presión B	0.4 bar a 4 bar
Media Presión A	50 mbar a 400 mbar
Baja Presión	5 mbar a 50 mbar

Fuente: Extraídos de Anexo 3 Operación y Mantenimiento de Redes de Gas, ANH

Recibe el nombre genérico de distribución por Redes, al conjunto de tuberías que conducen el Gas natural desde los puntos de producción, almacenamiento o regasificación hasta los puntos de consumo.

La red de transporte está diseñada para conducir grandes caudales de gas a grandes distancias de diferentes puntos de la red parten arterias que conducen el gas a las estaciones reguladoras de presión (EDR's) que abastecen zonas industriales y comerciales.

La cantidad de gas que puede circular por una tubería, es función del diámetro de la tubería entre dos puntos de la red para atender a la creciente demanda de gas natural.

3.1.4.1. Elementos Constituyentes Del Transporte Y Distribución Del Gas Natural

Los elementos que constituyen el transporte del Gas Natural podemos mencionar los siguientes:

3.1.4.2. Gasoductos

Líneas extensas de tuberías que unen los diferentes departamentos.

3.1.4.3. Estación de Recepción y Despacho (City Gate).

La figura 2 muestra un city gate fotografía extraída de informe del distrito de redes de gas Chuquisaca.

Figura 2 *City Gate Monteagudo*



Fuente: Extraído de la página oficial de Distrito de Redes de Gas Chuquisaca

Son instalaciones destinadas a la recepción, filtrado, medición, odorización y despacho del Gas Natural, en bloque a ser distribuido a través de los sistemas correspondientes. Es el punto que

separa el sistema de transporte con el sistema de distribución. (DISTRITO REDES DE GAS CHUQUISACA, 2020)

3.1.4.4. Red de Distribución Primaria

Son un conjunto de Tuberías o ductos de acero de diámetro de 4 pulgadas – 20 pulgadas que conforman la matriz del sistema de distribución a partir de la estación de recepción y despacho (City Gate), cuya presión de operación supera los 6,9 bar (100 PSIG) por lo cual también se denominan Sistemas de Alta Presión.

3.1.4.5. Estación Distrital de Regulación (EDR)

La figura 3 es un registro fotográfico de una EDR que fue extraído de informes mensual de YPFB Distrito de Redes de Gas Chuquisaca.

Figura 3 *Registro Fotográfico EDR'S*



Fuente: Extraídos de la página oficial de Redes de Gas Chuquisaca

Son instalaciones que de acuerdo a su ubicación se denominan centrales, periféricas o combinadas y están destinadas a la regulación del caudal y la presión del Gas Natural, proveniente del sistema primario para suministrar el fluido a media presión al sistema secundario. (DISTRITO REDES DE GAS CHUQUISACA, 2020)

3.1.4.6. Red Secundaria

Conjunto de cañerías o ductos de acero, polietileno u de otro material que conforman sistemas reticulares a partir de los puestos de regulación distrital y operan a una presión entre los 500 mbar (7,25 PSIG) y hasta los 7 bar (100 PSIG) por lo cual también se denominan Sistemas de Media Presión.

3.1.4.7. Puente de Regulación y Medición

La figura 4 es una fotografía tomada en la planta de energía eléctrica ENDE Guaracachi.

Figura 4 *Puente de Regulación*



Fuente: Elaboración propia fotografía tomada en ENDE Guaracachi

Conjunto de equipos, instrumentos y accesorios desde la válvula de corte hasta el medidor inclusive, que son utilizados para el control y la reducción de la presión y la medición del consumo del Gas Natural. (DISTRITO REDES DE GAS CHUQUISACA, 2020)

3.1.4.8.Acometida

Conjunto de tuberías y accesorios que conforman la derivación del servicio, desde un punto de la red o línea de transporte, hasta la válvula de corte del inmueble.

3.1.4.9. Gabinete de Medición

Son todos aquellos espacios cubiertos, destinados en forma exclusiva para la instalación de sistemas de regulación y/o medición o artefactos de gas, que por sus dimensiones no permite el normal ingreso de una persona.

3.1.4.10. Instalación Interna

Conjunto de tuberías, accesorios y demás elementos que componen el sistema de suministro domiciliario, a partir del medidor.

3.1.5. Tipos De Instalaciones

Las instalaciones a los diferentes usuarios esta diferenciado según los volúmenes de gas consumado, materiales y equipos utilizados, las instalaciones de gas se puede diferenciar de tres tipos:

3.1.5.1. Instalaciones Domesticas

Este tipo de instalaciones hace referencia aquella que especialmente están construidas para alinear aparatos de uso común (domesticas) en una vivienda.

3.1.5.2. Instalaciones Comerciales

Se refiere aquellas realizadas en instalaciones inmuebles destinadas a prestar servicios, así por ejemplo carteles, colegios, restaurantes, panaderías, etc.

3.1.5.3. Instalaciones Industriales

Se refiere a las construidas en general para todo tipo de industriales, por ejemplo: Fábricas, Calderas, Yaserías, Cerámicas.

3.1.6. Definición De Gasoducto

Son conducciones de acero o polietileno, que sirven para transportar gases combustibles a gran escala, por las que circulan a alta presión. Los gasoductos son tubos inmensos empleados para transportar gas natural. Los gasoductos pueden transportar combustible desde los pozos de producción hasta las refinerías y luego a terminales de almacenamiento y distribución.

3.1.6.1. Elementos que Conforman un Gasoducto.

- La tubería misma.
- Los caminos de acceso o mantenimiento.
- Las estaciones de recepción, de despacho, y de control, y las estaciones de compresores o bombeo.

3.1.7. Proceso de Corrosión en Gasoductos

La corrosión consiste en la destrucción o deterioro de un material que reacciona con el medio ambiente. La corrosión de un metal es proceso electroquímico debido al flujo de electrones que se intercambian entre los diferentes componentes del sistema. La corrosión es la principal causa de falla alrededor del mundo. Cuando una tubería falla ocasiona grandes impactos en términos de pérdida de producción, dañosa la propiedad, contaminación y riesgos a vidas humanas. Los costos asociados para el mantenimiento correctivo, preventivo de estructuras atacadas por corrosión.

Existen además otros costos sin directos como son:

- Sobre-diseño de equipos para prevenir la corrosión.
- Mantenimiento preventivo, entre ellos revestimientos.
- Paro de equipos (pérdida de producción)

- Contaminación del producto.
- Pérdida de eficiencia en equipos.
- Daños a equipos adyacentes a aquél que fallo por corrosión.

3.1.8. Mantenimiento De Un Gasoducto

Como es sabido, el mantenimiento de un gasoducto es la etapa más importante en el transporte, ya que de este factor depende la eficiencia del mismo. Por tal motivo, se debe tener en cuenta: dónde está la tubería, el tipo de caudal y realizar operaciones periódicas de la estructura.

El mantenimiento de Gasoductos se fundamenta en lo establecido en Norma ASMEB31.8 (Tuberías de Transporte y Distribución de Gas), a continuación, se realiza un breve resumen sobre lo planteado en la norma sobre el mantenimiento de estos:

3.1.8.1. Vigilancia Periódica de los Gasoductos.

Se deberá implementar y establecer procedimientos para la vigilancia de gasoducto, en los cuales se deberán estudiar las condiciones y tomar acciones apropiadas cuando ocurran fallas, fugas, caída de eficiencia de flujo, entre otros ASME B31.8 párrafo 851.1.

3.1.8.2. Patrullaje del Gasoducto.

Se debe mantener un programa de patrullaje del Gasoducto para observar las condiciones de superficie del gasoducto, para buscar indicadores de fugas, peligros naturales y cualquier otro factor que afecten la seguridad y operación del gasoducto ASME B31.8 párrafo 851.2.

3.1.8.3. Estudio de Fugas

Se deben efectuar estudios de fugas periódicos sobre las líneas como parte del plan de operación y mantenimiento. Las frecuencias de los estudios de fugas se determinarán de acuerdo a la presión, edad de la tubería, clase de localidad y si es que la línea transporta gas sin un odorizador ASME B31.8 párrafo 851.3.

Además de los métodos de mantenimiento mencionados anteriormente también se utilizan:

3.1.8.4. Recubrimientos Protectores.

Estos recubrimientos se utilizan para aislar el metal del medio agresivo, el cual puede ser metálico o no metálico. Entre los recubrimientos no metálicos se tienen las pinturas, barnices, lacas, resinas naturales o sintéticas, entre otros; y, entre los metálicos pueden lograrse mediante el electro deposición de metales como: el níquel, zinc, cobre, cadmio, estaño, cromo, etc.

3.1.8.5. La Corrida de Herramienta.

También llamado cochino limpiador. El término “Cochino” o “Pig” se refiere a cualquier dispositivo que puede ser usado en tuberías para realizar operaciones como: remoción de parafinas, sucio y agua acumulada en una línea; llenado de tuberías para efectuar pruebas hidrostáticas; drenajes de líneas después de haber realizado una prueba hidrostática; secado de líneas e inspección de tuberías, para detectar si existen abolladuras, hendiduras, pandeo o corrosión excesiva; para determinar esto último se emplea un cochino electrónico o de calibración. Esta herramienta de limpieza es enviada por una trampa lanzadora y recuperado por una trampa receptora, posee unos cepillos que permiten limpiar internamente el gasoducto; éste requiere de mucho cuidado, de lo contrario puede originar efectos secundarios durante la limpieza de la tubería. Generalmente, la limpieza de los gasoductos se realiza cuando existen líquidos o impurezas, cuando la eficiencia de transmisión es menor del 70% de su capacidad teórica y cuando se va a operar un nuevo gasoducto. Para el análisis hidráulico de la tubería durante la corrida de la herramienta de limpieza en el gasoducto, se deben considerar las siguientes premisas básicas: longitud de la tubería, diámetro interno, temperatura del fluido, presión de la trampa de envío, peso molecular del gas, caudal del gas a manejar, entre otros.

3.1.8.6. Derecho de Vía (DDV).

El Derecho de Vía (DDV) es una franja de terreno a ambos lados de un ducto que transporta hidrocarburos, la cual debe mantenerse limpio con el fin de proteger el ducto. Las microempresas no solo se encargan de mantener el Derecho de Vía libre de malezas y arbustos, sino que se involucran en la seguridad de los ductos YPFB Transporte.

El ancho mínimo del derecho de vía es de 12.5 m. a cada lado del eje de la tubería. La separación entre ductos dentro de la misma zanja debe ser de 1.00 m como mínimo y la separación entre ductos en diferente zanja debe ser de 2 m. como mínimo de eje a eje.

3.1.9. Tipos De Mantenimiento

Tradicionalmente, se han distinguido 5 tipos de mantenimiento, que se diferencian entre sí por el carácter de las tareas que incluyen, para el mantenimiento del ducto Qhora Qhora – Aranjuez tramo El Tejar – Azari de este proyecto se realizará el mantenimiento: preventivo y correctivo.

3.1.9.1.Mantenimiento Correctivo.

Es el encargado de corregir fallas o averías observadas.

- Mantenimiento Correctivo inmediato. Es el que se realiza inmediatamente de aparecer la avería o falla, con los medios disponibles, destinados a ese fin.
- Mantenimiento correctivo diferido. Al momento de producirse la avería o falla, se produce un paro de la instalación o equipamiento de que se trate posteriormente afrontar la reparación, solicitándose los medios para ese fin.

3.1.9.2.Mantenimiento Preventivo.

Este mantenimiento está destinado a garantizar la fiabilidad de equipos en funcionamiento antes de que pueda producirse un accidente o avería por algún defecto o deterioro.

- Mantenimiento Programado. Realizado por un programa de revisiones, por tiempo de funcionamiento, kilometraje, etc.
- Mantenimiento Predictivo. Es aquel que realiza las intervenciones prediciendo el momento que el equipo quedara fuera de servicio mediante un seguimiento de su funcionamiento determinando su evolución, y por tanto el momento en que las reparaciones deben efectuarse.
- Mantenimiento de Oportunidad. Es aquel que aprovecha las paradas o periodos de no uso de los equipos para realizar las operaciones de mantenimiento, realizando las

revisiones o reparaciones necesarias para garantizar el buen funcionamiento de los equipos en el nuevo periodo de utilización.

- Mantenimiento de actualización. Tiene como propósito compensar la obsolescencia tecnológica o las nuevas exigencias en el momento de construcción no existan o no fueron tenidas en cuenta, pero en la actualidad si deben serlo.

3.1.10. Marco Contextual

3.1.10.1. Antecedentes Del Gasoducto

Se inicia los trabajos de construcción de la Planta Aranjuez en 1971, posteriormente se inauguró el año 1974 con una capacidad de producción de energía eléctrica de 9 megavatios (MW) para tres motores Dual Fuel, para alimentarse de gas existía una tubería de 2 pulgadas la cual está en desuso, en 1994 la empresa amplía la capacidad de producción con la instalación de un turbogenerador a gas natural, con eso la capacidad aumento a 37 megavatios (MW) de potencia.

En 1994 mediante decreto supremo se construye el Gasoducto Qhora Qhora – Aranjuez con una longitud de 9,5 kilómetros (Km), en 1995 con la capitalización, la Planta Aranjuez pasa a propiedad de Guaracachi, pero no así el Ducto.

Al ser ENDE el dueño del ducto y GUARACACHI la única operadora, a finales de la gestión 2012 se suscribió un contrato de arrendamiento para la operación y mantenimiento del gasoducto entre las dos entidades.

A raíz de una solicitud de la Agencia Nacional de Hidrocarburos ANH, Guaracachi realizo las gestiones necesarias para realizar el mantenimiento adecuado del gasoducto. El 14 de enero de 2013 se inician los trabajos de mantenimiento al ducto, para ello la empresa adjudico a la empresa de servicios PROSERMACO para iniciar los trabajos de mantenimientos considerados prioritarios.

3.1.10.2. Función del Gasoducto

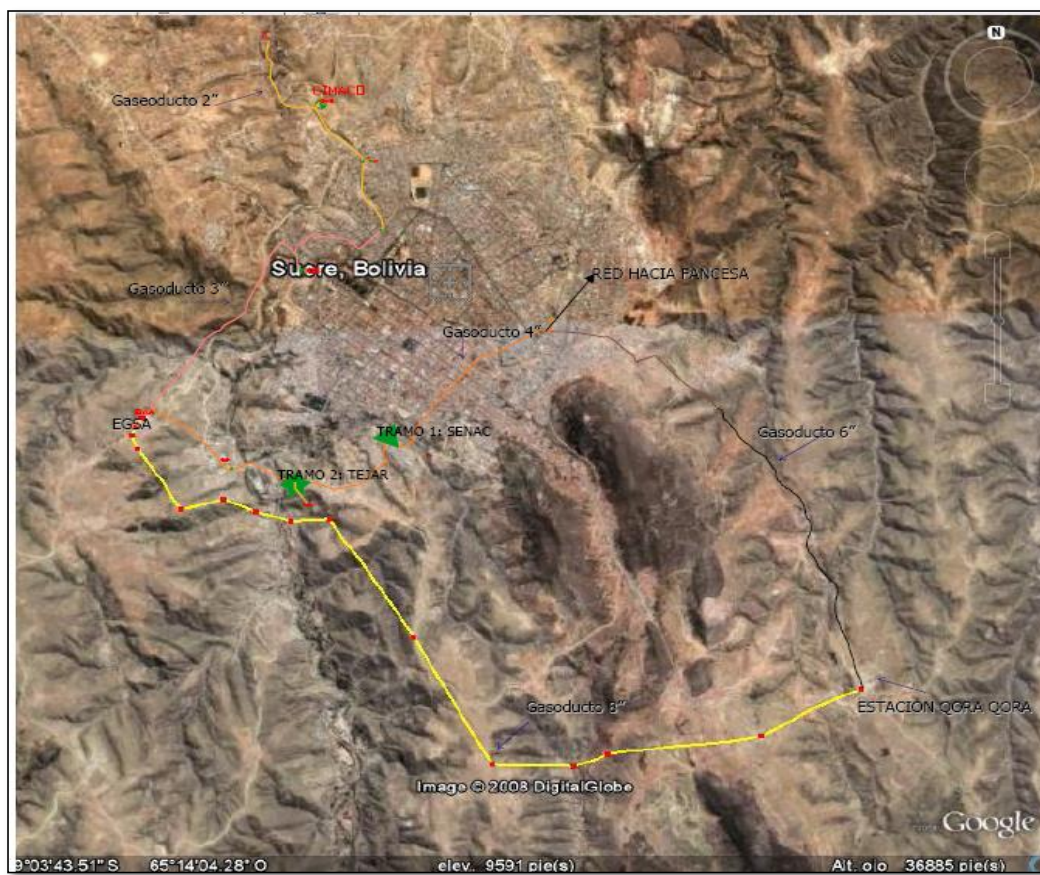
La función del gasoducto es transportar Gas Natural a las unidades de Generación de Energía Eléctrica de la Planta Aranjuez tanto a los motores Dual, Nordberg y a la turbina, el gas

proveniente de Qhora Qhora a través de la tubería de red primaria de 8 pulgadas al turbogenerador que pasa a una presión de 20 bares para generar 37 megavatios (MW) de potencia, esto provee energía aproximadamente a 68.000 familias bolivianas.

3.1.10.3. Características del Gasoducto

La figura 5 presentada es todo el trayecto que crusa el gasoducto Qhora Qhora – Aranjuez en la ciudad de Sucre.

Figura 5 Gasoducto Qhora Qhora – Aranjuez



Fuente: Extraído de archivos de la Planta Aranjuez a base de google earth, 2008.

La Planta Termoeléctrica Aranjuez tiene un gasoducto que cuenta con las siguientes características:

- Longitud de la tubería 9642,955 metros (2932 m enterado y 6710m aéreo).
- 8 pulgadas de diámetro.

- Presión normal de utilización 700 psi.
- Altitud Aranjuez 92847,5 metros sobre el nivel del mar (msnm).

3.1.10.4. Inspección al tramo El Tejar – Azari del Gasoducto Qhora Qhora – Aranjuez

La inspección se realizó con la presencia del Ingeniero Jorge Montecinos Asistente Mecánico Sistema Sur y mi persona con esto él se pudo delimitar alcances de trabajos que podrían realizarse, la inspección consistió en un recorrido en su totalidad del Gasoducto que alimenta a la Planta Aranjuez desde Qhora Qhora.

Durante la inspección se recopilaron datos e imágenes de aspecto de mejora para la tubería, no se comprometió ninguna acción para la realización de trabajos con relación del ducto, se pudo observar los siguientes aspectos:

- Se pudo comprobar la existencia de tramos de tubería que por falta de soportes ahora están enterrados o semienterrados sin la protección anticorrosiva necesaria.
- La solución para estos casos es que pongan soportes adecuados (tipo H) correspondientes a fin de elevar la tubería para que ésta esté libre del contacto con el terreno. Posteriormente se debe realizar el lijado y pintado con pintura anticorrosiva y verificación de fugas.
- Existen soportes para la tubería fabricados de hormigón armando los cuales están volteados, caídos o trasladados por ajenos a otro lugar haciendo que la tubería esté sometida a esfuerzos por falta de estos o bien se balancee de manera pronunciada.
- La solución consiste en colocar nuevamente estas bases, pero preparando el lugar para su colocación a la altura y dirección adecuadas.
- Estos volteos o caídas de soportes surgen por que en ciertos lugares el terreno ha cambiado su topografía original haciendo que son dilataciones y contracciones de la tubería los soportes hayan sido vencidos por el esfuerzo hecho por la tubería.

- En la zona alto Florida se observó que en cruces de caminos la tubería se encuentra semi-enterrada, también la línea de gas atraviesa muy cerca de viviendas poniendo en riesgo al sector.
- La solución para estos casos es el entierro en su totalidad el ducto en el sector y en cruce de caminos se recomendaría lastrar para el libre paso de sus vehículos o maquinarias.
- En la zona de urbanización de Azari por donde pasa la tubería en ciertos lugares no están con soportes correspondiente por lo que esta semienterrada, existen tramos de tubería donde la acción de los vecinos hizo que la tubería esté enterrada para el libre paso de sus vehículos y maquinaria.
- Se debería acordar con los usuarios el paso de la tubería y el peligro que representa el maltrato de la misma y posteriormente en caso de un buen arreglo, enterrar la tubería con todas las protecciones necesarias o elevarla mediante soportes.
- Existen tramos de tubería en las que las hierbas están humedeciendo la tubería.
- La solución es que se debe colocar debidamente soportes y limpiar algunos lugares de hierbas.
- Existe una ignorancia marcada de vecinos en lugares poblados sobre el peligro que conlleva malograr la tubería que pasa cerca de su propiedad, se constató que la tubería está ahora debajo de ciertas plantaciones.
- También se pudo constatar que vecinos ampliaron su propiedad muy cerca de la tubería.

3.2. INFORMACIÓN Y DATOS OBTENIDOS

3.2.1. Elaboración Del Plan de Mantenimiento

La implementación del plan de mantenimiento del gasoducto tiene como finalidad la correcta operación la línea de gas, a fin de prevenir futuros accidentes ya sea a quienes están en contacto o cercanías del ducto.

3.2.2. Plan De Mantenimiento Del Gasoducto Qhora Qhora – Aranjuez

El plan de mantenimiento del gasoducto Qhora Qhora Aranjuez, contempla básicamente las actividades de mantenimiento preventivo y correctivo del gasoducto.

Este plan hace énfasis en los conceptos más importantes de cada actividad, así como en los parámetros técnicos que se deben considerar al momento de llevar a cabo las diferentes actividades de mantenimiento preventivo y mantenimiento correctivo; incluyendo recursos materiales y equipo necesario para llevar a cabo dichas actividades.

De igual manera, se hace énfasis en los procedimientos de mayor importancia para llevar a cabo el mantenimiento preventivo y correctivo, considerando especialmente, las actividades a llevarse a cabo en tramos instalados en zonas urbanas y en zonas rurales, lo cual se debe considerar especialmente en la descripción de inspecciones, patrullaje y señalización, especialmente en lo que concierne al objeto de estudio, que en el caso de la presente monografía fue definido para el efecto el tramo Tejar – Azari, caracterizado por atravesar una zona urbana en continuo crecimiento.

Sin embargo, el plan desarrollado contempla todo el gasoducto, aunque en las actividades de inspección, señalización y patrullaje, se hace referencia directa a este tramo.

3.2.3. Actividades de mantenimiento preventivo del gasoducto Qhora Qhora – Aranjuez

Las actividades de mantenimiento preventivo que se llevan a cabo en el gasoducto Qhora Qhora, son las siguientes (ENDE Guaracachi, 2016):

3.2.3.1. Inspección de ductos

Para mantener la integridad de un ducto es necesario conocer el estado físico de este en todo su trayecto, el cual incluye partes superficiales (visto) y subterráneas (enterradas), esta última no se puede conocer su estado físico a simple vista como sería en un ducto superficial.

La finalidad de la inspección en la tubería de transporte es comprobar periódicamente que se mantenga dentro de tolerancias y condiciones de seguridad de acuerdo a los requerimientos establecidos en las normas aplicables.

La inspección es el primer mantenimiento de ductos ya que de esta se genera el programa de mantenimiento que deberá aplicarse para conservar la integridad del ducto.

La inspección de los ductos se realiza en cuatro niveles:

3.2.3.2. El Nivel 1

Comprende una inspección visual que a su vez se lleva a cabo de dos maneras:

- **Recorrido terrestre.** En vehículo o mediante patrullaje a pie. En este tipo de inspección el propósito es: verificar la protección anticorrosiva, golpes o abolladuras del ducto, estabilidad del ducto y derecho de vía, vibración del ducto, condición mecánica de los anclajes o soportes, condición de cruces, corrosión de apoyos y anclajes o soportes, condición de los señalamientos existentes e identificación de los faltantes, asentamiento humano y actividades de construcción sobre el derecho de vía, limpieza y vegetación que pueda dañar el ducto, tomas clandestinas desprendimiento de lastre de concreto, colchón de enterrado en sitios sujetos a erosión (pantanos, ríos, lagunas, etc.) y detección de tramos semienterrados.

Las inspecciones terrestres se deben realizar cada quince días en zonas urbanas y cada mes en zonas rurales.

Este trabajo debe ser llevado a cabo por personal experimentado, que tenga conocimientos sobre corrosión de ductos.

- **Recorrido aéreo.** Se lleva a cabo para localizar los riesgos potenciales en zonas de difícil acceso tales como: áreas pantanosas o zonas de topografía accidentada, además de localizar o detectar maquinaria pesada trabajando en las cercanías del derecho de vía, labores agrícolas de desmonte y quema: explotación de minas, canteras, etc. Este tipo de inspección se debe llevar a cabo en un plazo máximo de 30 días.

3.2.3.3. Nivel 2

Verificar Es el tipo de la inspección, que se lleva a cabo, en sitios o zonas específicas donde se requiera determinar la condición en la que se encuentra la tubería. Consiste en:

- La línea regular a instalaciones superficiales, esta inspección consiste en evaluar la protección anticorrosiva y las discontinuidades producidas por fenómenos de

corrosión de cualquier configuración geométrica o de otro tipo que causen la disminución del espesor más allá de los límites permisibles en el diseño.

- Medir el espesor de la pared, para conocer la condición en que se encuentra el ducto en cuanto al espesor de pared remanente que tiene la tubería y de esta manera determinar y puede o no seguir operando adecuadamente. Se debe efectuar la medición de espesores de la tubería e instalaciones superficiales y enterradas de acuerdo con el programa de inspección.
- Evaluación de Equipos, Válvulas, Accesorios y Conexiones. Consiste en la medición de espesores y las longitudes de defecto y evaluar las condiciones mecánicas en su funcionamiento u operación.

3.2.3.4. Nivel 3

La tabla 3 presentada de la velocidad de flujo de corrida de PIG es un proceso en que se limpian fluidos altamente viscosos de la tubería.

Tabla 3 *Velocidad de flujo de corrida de PIG*

Aplicación	Velocidad (Km/hr)
Construcción	5 – 8
Gas	8 – 20
Líquido	3 – 15

Fuente: Extraído de la revista LIMPRO Introducción a la Limpieza de Ductos

Se lleva a cabo cuando se requiera comprobar las condiciones del ducto en toda la longitud, se debe efectuar una inspección de la tubería con un equipo instrumentado, conforme a la norma. Consiste en:

- Implementación de Inspección interna con Equipo Instrumentado PIG, para lo cual se debe considerar ciertos aspectos de la línea de red primaria como el diámetro, longitud, contenidos, geometría, condiciones de temperatura y presión de operación, espesor, entre otros. Esta inspección se debe planificar para cada caso en particular.

- **Construcción.** Las corridas de PIG'S son parte integral de la etapa de construcción de una tubería. La primera aplicación es cuando el contratista corre un PIG de limpieza en secciones cortas de la línea para eliminar basura que siempre queda al soldar las secciones de la tubería.
- **Operación.** Los principales objetivos de estas corridas de mantenimiento son para la remoción de parafinas, polvos de óxido, eliminación de agua por efecto de condensación.
- **Velocidad del flujo.** El trabajo de PIG es más eficiente cuando viaja a velocidad constante y no cuando viajan en un régimen de arranques y paros. Tampoco el trabajo es muy efectivo a muy altas velocidades. (LIMPRO NACIONAL , 2013)

3.2.3.4.1. Ecuaciones para Calcular el Tiempo de Viaje del PIG

- **Diámetro Interno de la Tubería**

$$ID = D - (2 * t) [=] plg \quad Ec. (4.1)$$

Dónde: D = Diámetro nominal (plg)

t = Espesor (plg)

- **Área de la Tubería**

$$A = \frac{\pi}{4} * ID^2 [=] plg \quad Ec (4.2)$$

Dónde: ID = Diámetro interior (plg)

- **Caudal**

$$Q = v * A [=] \frac{m^3}{hr} \quad Ec (4.3)$$

Dónde: v = Velocidad de viaje del PIG (m/h)

A = Área de la Tubería (m²)

- Despeje de la Ec (3.3)

$$v = \frac{Q}{A} [=] \frac{m}{hr} \quad Ec (4.3.1)$$

- **Velocidad de Viaje del PIG**

$$v = \frac{d}{t} [=] \frac{m}{hr} \quad Ec (4.4)$$

Dónde: d = Distancia de viaje del PIG (m)

t = Tiempo de viaje del PIG (hr)

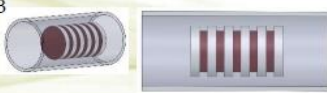
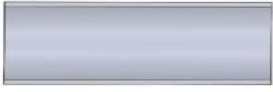
- Despeje de la Ecuación (3.4)

$$t = \frac{d}{v} [=] hr \quad Ec (4.4.1)$$

Datos a considerar

- Producto (Crudo, gas natural, productos refinados).
- Cuervas, válvulas, tees, diámetro, longitud y producto transportado.
- Lanzadores y receptores, manómetros, válvulas.

Figura 6 Programa progresivo de limpieza

1		Prueba de flujo Es la diferencia entre el volumen de entrada con respecto al volumen de salida y brinda una idea del grado de obstrucción
2		Pig de Prueba (Inspección) Su función es determinar el tamaño y cantidad de elementos de limpieza a utilizar
3		1er Corrida La función es la de remoción de la obstrucción gradualmente aumentando progresivamente los diámetros de los elementos así como densidades
4		Última Corrida Se efectúa un barrido con un elemento de limpieza correspondiente al diámetro de la línea y se realiza la inspección final de 0 residuos.
5		Prueba Final de Flujo Comparativa de presiones y flujos antes y después de la corridas así como el Flujo de Diseño.

Fuente: Extraído de la revista LIMPRO Introducción a la Limpieza de Ductos

En la figura 6 se muestra un programa de limpieza de PIG que son dispositivos que se inserta y viajan por la longitud de una tubería, impulsados por el flujo de la misma.

3.2.3.4.2. Materiales y Requisitos Requeridos para Lanzamiento y Recepción de Herramientas

En la tabla 4 y 5 se muestra el equipo y materiales a ser utilizados en la instalación para la corrida de PIG en la tubería.

Tabla 4 Herramientas de limpieza y calibración

Herramienta de Limpieza	Herramientas de Calibración
Copas, cepillos, discos, placa calibradora, magnetos, cochinos de espuma, entre otros.	Calibración magnética y detectora de curvas, herramientas de inspección electromagnéticas y ultrasónicas. Detectores de cochinos (Pig Locator).

Fuente: Elaboración propia en base a datos de la revista LIMPRO Introducción a la Limpieza de Ductos

Los materiales, equipos y personal mínimo requerido durante los procesos de entrampado, lanzamiento, recepción y recuperación de una herramienta son: (LIMPRO NACIONAL , 2013)

Tabla 5 *Materiales y Equipos*

N°	Equipo	Unidad
1	Camión cisterna apagafuego	1
2	Bombonas de nitrógeno	1
3	Equipo de levantamiento	1
4	Bandeja de entrampado	1
5	Vehículo para el manejo y disposición de residuos	1
6	Empacadoras	1
7	Grasas sellantes	3
8	Desengrasante	3
9	Herramientas manuales de golpeo	3
10	Vehículo de transporte de herramientas	1

Fuente: Elaboración propia en base a datos informes técnicos de YPF

Definir las condiciones y requerimientos referentes al servicio de inspección interna instrumentada con herramientas de alta resolución en sistemas de tuberías para el transporte de gas. (PDVSA, 2005)

3.2.3.4.3. Nivel 4

Este nivel corresponde a una inspección localizada y detallada de zonas específicas en el ducto y depende de los resultados obtenidos por otros niveles de inspección, para lo cual se debe elaborar un programa de inspección considerando todos los puntos con discontinuidades. La aplicación de este nivel de mantenimiento preventivo, requiere de la verificación de parámetros según norma ASME B31.8, como ser:

- Cálculo de la presión de diseño (Fd).
- Cálculo del esfuerzo tolerable
- Cálculo del espesor mínimo

3.2.3.4.4. Ecuaciones Según norma ASME B31.8

ASME B31. 8 es el código más utilizado para el diseño, operación, mantenimiento y reparación de ductos y tuberías de distribución y transmisión de gas natural.

3.2.3.4.5. Ecuación para Calcular la Presión de Diseño (Pd)

$$P_d = \frac{2 * S * t}{D} + f_{dis} + f_{JT} + f_{TEM} [=] Psi \quad Ec. (4.8)$$

Dónde: Pd = Presión de diseño (Psi)

S = Esfuerzo de fluencia mínimo especificado (Psi)

t = Espesor de la tubería (Plg)

D = Diámetro nominal (Plg)

f_{dis} = Factor de diseño

f_{JL} = Factor de junta longitudinal

f_{TEM} = Factor de diseño por temperatura

3.2.3.4.6. Clasificación por Clase de Localización para Gas

El área unitaria debe ser la base para determinar la clasificación por clase de localización en ductos que transportan gas, la cual corresponde una zona de 1600 metros (1 milla) de longitud en la ruta de la tubería con un ancho de 400 metros (1/4 milla), 200 metros a cada lado del eje

de la tubería. La clasificación se debe determinar de acuerdo con el número de construcciones localizadas en esta área unitaria. Para propósito de esta norma, cada vivienda o sección de una construcción destinada para fines de ocupación humana o habitacional se considera como una construcción por separado.

- **Clase de localización 1.** Corresponde con la tubería que en su área unitaria se tienen 10 o menos construcciones destinadas a ocupación humana.
- **Clase de localización 2.** Corresponde a aquella tubería que en su área unitaria se tienen más de 10 pero menos de 46 construcciones a ocupación humana.

“los ductos que cumplan con las clases 1 o 2, pero que dentro de su área unitaria se encuentren al menos un sitio de reunión o concentración pública de más de 20 personas, tales como iglesias, escuelas, salas de espectáculos, cuarteles, hospitales o áreas de recreación, se deben considerar dentro de los requerimientos de la Clase de Localización 3.”

- **Clase de localización 3.** Es la tubería que cumple con una de las siguientes condiciones:

I. Cuando en su área unitaria se tengan 46 o más construcciones destinadas a ocupación humana.

II. Cuando exista una o más construcciones a menos de 90 metros (0,056 millas) del eje de la tubería y se encuentre (n) ocupada(s) por 20 o más personas por lo menos 5 días a la semana durante 10 semanas al año.

III. Cuando exista un área al aire libre bien definida a menos de 100 metros (0,062 millas) del eje del ducto y esta sea ocupado por 20 o más personas durante su uso normal, tal como un campo deportivo, un parque de juegos, un teatro al aire libre u otro lugar público de reunión.

IV. Cuando se tenga la existencia de áreas de fraccionamientos o casas comerciales, en donde se pretende instalar una tubería a menos de 100 metros (0,062 millas), aun cuando al momento de su construcción, solamente existan edificaciones en la décima parte de los lotes adyacentes al trazo.

V. Cuando el ducto se localice en sitios donde a 100 metro (0,062 millas) o menos haya un tránsito intenso u otras instalaciones subterráneas (ductos de agua, eléctricos, drenajes, entre otros), en el entendido de que se considera tránsito intenso un camino o carretera pavimentada con un flujo de 200 o más vehículos en una hora pico de aforo. Cuando exista un cruce de carretera con tráfico intenso, considerar 200 metros antes y 200 metros después a partir de los límites de la misma.

▪ **Clase de localización 4.**

En la tabla 6 se muestra los factores de diseño para la construcción de ductos de acero para una correcta construcción.

Tabla 6 Factores de diseño (*fdis*) para construcciones de ductos de acero, de acuerdo al tipo de instalación por donde atraviesa

Tipo de Instalación	Clasificación por clase de localización			
	1	2	3	4
Ductos, troncales y de Servicio	0,72	0,60	0,50	0,40
Cruces de caminos y vías de FF.CC.				
a) Caminos privados	0,72	0,60	0,50	0,40
b) Caminos sin pavimentar	0,60	0,60	0,50	0,40
c) Caminos, autopistas o calles públicas, vías de FF.CC.	0,60	0,60	0,60	0,40
Ductos paralelos a caminos y vías de FF.CC.				
a) Caminos privados	0,72	0,60	0,50	0,40
b) Caminos sin pavimentar	0,60	0,60	0,50	0,40
c) Caminos, autopistas o calles públicas, vías de FF.CC.	0,60	0,60	0,60	0,40
Ductos sobre puentes	0,60	0,60	0,50	0,40

Fuente: Extraídos de Anexo 3 Operación y Mantenimiento de Redes de Gas, ANH

Corresponde a la tubería que en su área unitaria se encuentran edificios de 4 o más niveles contados desde el nivel del suelo, donde el tráfico sea pesado o denso; o bien, donde existan numerosas instalaciones subterráneas. (ASME B 31.8 , 2020)

La tabla 7 muestra lo parámetros del factor de diseño de temperatura.

Tabla 7 Factor de diseño por temperatura (f_{TEM})

Temperatura		Factor de Diseño (f_{TEM})
°C	°F	
121 o menos	250 o menos	1,000
149	300	0,967
177	350	0,933
204	400	0,900
232	450	0,867

Fuente: Datos extraídos de páginas de la Norma ASME B 31.1

Factor de variación por temperatura (T) para tubos de acero a usarse en la fórmula de diseño de la sección 7.1.1 se determinará como sigue: (ASME B 31.8 , 2020)

En la tabla 8 se muestra los parámetros a seguir del factor de junta longitudinal según la normativa.

Tabla 8 Factor de junta longitudinal (f_{JL})

Tipo de Tubería	Factor de Junta Longitudinal (f_{JL})
Soldadura longitudinal por arco sumergido (SAWL)	1,0
Soldadura por resistencia eléctrica (ERW)	1,0
Soldadura helicoidal por arco sumergido (SAWH)	1,0

Fuente: Extraídos de páginas de la Norma ASME B 31.1

Factor de junta longitudinal (E) para tubo de acero a usarse en la fórmula de diseño de la sección 7.1.1 se determinará de acuerdo con la tabla siguiente: (ASME B 31.8 , 2020)

3.2.3.4.7. Ecuaciones Para Calcular el Esfuerzo Tolerable

La tubería API5L grado X52 fue empleada para la construcción del Ducto Qhora Qhora – Aranjuez por lo cual tenemos los siguientes datos:

$$S = f_{dis} * f_{JF} * SMYS [=] Psi \text{ Ec. (4.9)}$$

Dónde: f_{dis} = Factor de diseño.

f_{JF} = Factor de junta de soldadura.

SMYS = Esfuerzo de Cedencia mínimo.

3.2.3.4.8. Ecuación para Calcular el Espesor Mínimo

La tabla 9 muestra los valores de factor de diseño de ductos por categorías según la normativa.

Tabla 9 Valores de Factor de Diseño (f_{dis})

1° Categoría	F=0,72
2° Categoría	F=0,60
3° Categoría	F=0,50
4° Categoría	F=0,40

Fuente: Extraídos de páginas de la Norma ASME B 31.1

Los espesores de canalización se calculan de acuerdo a lo indicado en el código ASME B31.8 (ASME B 31.8 , 2020)

$$t = \frac{P_i * D}{2 * S * f_{dis} * f_{JF} * f_{TEM}} [=] Plg \quad Ec. (4.10)$$

Dónde: t = Espesor de pared mínimo requerido (cm)

P_i = Presión interna de diseño, (Psi)

D = Diámetro nominal (Plg)

S = Resistencia mínima a la cedencia (Psi)

f_{dis} = Factor de diseño, según lo indicado en la norma.

f_{JF} = Factor de eficiencia de junta longitudinal determinado conforme al cuadrado 3 del apartado 7.12 de la NOM-007-SECRE-1999.

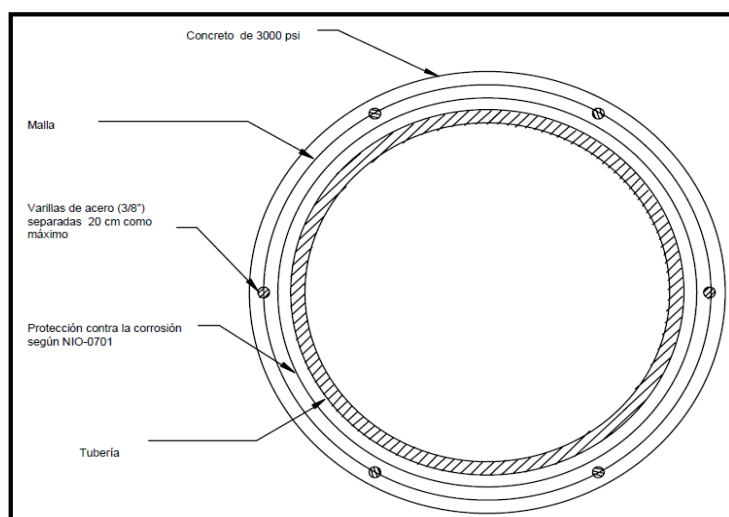
f_{TEM} = Factor de corrección por temperatura determinado conforme con lo establecido en la norma anterior.

3.2.3.5.Lastrado de la Tubería

La figura 7 muestra el lastrado de la tubería de acero que es esencial para asegurar y proteger la estabilidad del ductos, donde exista la posibilidad de abrasión o impacto.

El lastrado de la red primaria tuviera que realizarse entre las progresivas Kp 4 +000 y Kp 4 +980, debido a que la tubería cruza un rio y cruce de camino. Las características del lastrado con concreto se muestran en la figura.

Figura 7 Lastrado de Tubería



Fuente: Extraído de páginas (Ecopetrol, 2020).

Es el proceso de agregarle peso a la tubería mediante concreto reforzado en forma de camisa continua, para asegurar su estabilidad en el fondo de un cuerpo de agua, este paso será por el sector La Calancha.

El lastrado se debe aplicar sobre todo para reforzar la protección mecánica del ducto ante cualquier acción no controlada realizada por terceros, se usa generalmente en cruce de caminos, carreteras, quebradas, canales y otras obras menores. Para este caso las mediciones de lastrado de la tubería vienen ya predeterminadas de acuerdo al diámetro del ducto.

3.2.3.6.Derecho de vía (DDV).

La tabla 10 muestra el parámetro de derecho de vía que deberán tener de acuerdo al diámetro de la tubería.

Tabla 10 *Parámetros de Derecho de Vía*

Diámetro de la Tubería (Plg)	Ancho de la Vía (m)
2	10
4	10
6	13
8	13
10	15
12	16

Fuente: Extraídos de páginas de la Norma ASME B 31.1

Se llama derecho de vía a la senda o camino que se utiliza para la construcción, operación y mantenimiento del ducto. El trabajo de Derecho de Vía (DDV) consta de realizar las siguientes actividades:

- Limpieza: Es la parte de deshierbe y desmonte lo cual se realiza para que la vegetación no impida la visibilidad al momento de la inspección además se deberá ver si existe riesgo de erosión que pueda impedir el tránsito vehicular y/o afecte la seguridad del ducto.
- Deshierbe: Consiste en limpiar la vegetación que está construida por los arbustos que en general tiene troncos o ramas menores a dos pulgadas de diámetro.
- La seguridad del ducto y/o generen reclamos de terceros; esta vegetación será aplicada en cordones de 200 metros con espacio de 4 metros para el paso de animales, también se deja libre los pasos de agua. La limpieza del derecho de vía se realiza solo con herramientas manuales en las áreas cercanas a los cruces de agua hasta una distancia de 100 metros, así como las pendientes de inclinación mayores a 30 %. Después de realizar los trabajos de deshierbe, desmonte es necesario asegurarse de que los ductos hayan sido debidamente señalados a lo largo del derecho de vía (DDV) mediante estacas, mojones, con cinta de advertencia o pintura.

- Para realizar el derecho de vía (DDV), debemos basarnos en los siguientes parámetros según el diámetro del ducto. (ASME B 31.8 , 2020)

3.2.3.7. Señalización de ductos

Debe ser instalada en aquellas ubicaciones en las que existe probabilidad de daños o interferencia como ser: rutas pavimentadas, cruce de avenidas, cruce da agua, servidumbre pública y cambios de dirección del ducto. La señalización debe ser ubicada en lugares visibles, tales como postes, o al pie de infraestructuras de apoyo.

La señalización de ductos debe realizarse con pinturas de laca, esmalte barniz, vinilo y base. Los colores, pueden ser rojo, naranja, amarillo, verde, azul, púrpura, blanco y/o negro.

Las leyendas y/o símbolos de la señalización permiten la mejor identificación de la tubería, debe ser escrita mediante letras, palabras o el nombre del producto, en forma completa o abreviada, pero fácil de comprender ejemplo:

- Crudo
- Gasolina
- Diésel

La leyenda y/o símbolo identifica exactamente, la temperatura, la presión y otros parámetros importantes, especialmente en los materiales de alto peligro inherente y debe ser breve, informativa, puntual y simple. Se deben usar letras mayúsculas de tipo corriente y del tamaño según la tabla a continuación: (ASME B 31.8 , 2020)

Tabla 11 *Combinaciones de colores de fondo y colores de letras*

Diámetro exterior de la tubería	Largo mínimo del color de fondo	Tamaño de las letras
(Milímetros)	(Milímetros)	(Milímetros)
Hasta 32	200	15
33 a 50	200	20
51 a 150	300	30
151 a 250	600	60
Sobre 250	800	90

Fuente: Extraídos de páginas de la Norma ASME B 31.1

En relación a la visibilidad de la señalización, cuando los ductos estén localizados por encima del nivel de la visión normal, la leyenda debe ubicarse debajo de la tubería, donde se debe obtener el máximo contraste entre el color de fondo y la leyenda.

3.2.3.8. Patrullaje.

El objetivo de realizar un patrullaje es el de identificar preventivamente riesgos y amenazas que puedan provocar incidentes que afecten a las personas, al medio ambiente y/o a la integridad de los ductos, además de ser un medio de verificación periódica programada que se realiza a lo largo de todo el sistema del ducto, el cual permite realizar la inspección detallada del área circulante, franja de derecho de vía (DDV) y las condiciones reales en las que se encuentran operando los ductos (Amenazas por acciones de la naturaleza, deslizamientos, erosiones, etc.), para ello se encarga de verificar el estado de todos sus componentes (soportes, cables, corrosión superficial, etc.). En el patrullaje otra tarea de importancia es el de detectar oportunamente las “Invasiones al Derecho de Vía (DDV)”, asentamientos irregulares, construcciones, instalación de servicios ajenos, intención de robo o sabotaje ocasionados por terceros. Así como también la inspección de detección de fugas, erosiones, soportes, puentes, tejos, señalizaciones, profundidad y cruces fluviales. El personal que realice el patrullaje debe ser personal competente, capacitado, apto físicamente para cumplir con los trabajos requeridos y con experiencia de trabajo en el rubro, los líderes de cada grupo de Patrullaje deberán tener conocimiento de Salud Ocupacional, Seguridad Operativa, Medioambiente y Relacionamento Social (SSMS), así mismo deben estar habilitados para conducir vehículos para ello deberán

contar con la licencia vigente de conducción defensiva y 4x4. Además, que todo el personal de patrullaje será sometido a un examen médico periódico y evaluación de aptitud para el trabajo. El patrullaje comprende a su vez:

- **Patrullaje en Zonas Urbanas Críticas.** Los patrullajes se realizan únicamente a pie, principalmente en zonas de alta densidad poblacional o urbanas, el personal responsable de estos tramos debe comenzar su jornada laboral a las 6 de la mañana y terminar su recorrido hasta las 18:00 pm, de lunes a viernes, excepcionalmente cuando sea necesario se trabajará los días sábado y domingo.
- **Patrullaje de Grupos o Brigadas establecidas.** Para el patrullaje por grupos o brigadas se tiene un programa establecido y están conformadas por un analista de riesgo, ayudantes y vehículo de apoyo. Su jornada laboral debe comenzar a las 6 de la mañana hasta las 18:00 pm, el descanso nocturno debe realizarse en la comunidad más próxima a fin de evitar recorres distancias exageradas y exponerse innecesariamente a la conducción vehicular, actividad considerada de alto riesgo.

3.2.4. Actividades de mantenimiento correctivo del Gasoducto Qhora Qhora – Aranjuez

Se debe contar con la base de datos que registre cada defecto o fuga, donde se indiquen: localización, causa, tipo de reparación, entre otros. Esta información debe servir de base para tomar las medidas correctivas necesarias (ENDE Guaracachi, 2016).

Las actividades contempladas en el mantenimiento correctivo son las siguientes (ENDE Guaracachi, 2016):

3.2.4.1. Reparaciones Permisibles en Ductos

El método de reparación a utilizar en un Ducto con disminución de espesor de pared por corrosión o algún tipo de daño mecánico con o sin fuga, depende del tipo de anomalía.

Si el ducto puede sacarse de operación será preferible realizar una reparación definitiva. En el caso de no poder dejar de operar el ducto se podrá optar por una reparación provisional, o por

una reparación permanente. Si se opta por la reparación provisional, se debe programar una reparación definitiva o permanente en el menor tiempo posible

3.2.4.2. Variante

La variante es una desviación provisional o definitiva de un tramo del ducto, de esta manera poder garantizar el buen estado de la línea de gas. Las consideraciones para tomar en cuenta la construcción de la variante en el Kp 8 +720 entre Kp 7 +960 son:

- Cañería ubicada en cercanías de casas en construcción que no son de fácil acceso para su control de mantenimiento.
- Posibilidad de daño a la cañería debido a cargas externas que no fueron consideradas en el diseño original.
- La posibilidad de daños a personas o propiedades debido a pérdidas de gas de la cañería.

3.2.4.3. Reubicación de la tubería sobre soportes existentes

La figura 12 muestra la separación máxima que debería tener la tubería entre soportes según normativa.

Tabla 12 Separación Máxima entre Soportes de Ductos

Diámetro Nominal del Ducto	4"	6"	8"	10"	12"	14"	16"
(Pulgadas)							
Espacio Máximo entre Soportes	8	9	10	11	12	12	14
(Metros)							

Fuente: Extraídos de páginas de la Norma ASME B 31.1

Consiste en colocar la tubería desplazada en un sitio sobre los soportes existentes, y/o reubicarla en posición correcta considerando siempre la altura mínima sobre la superficie de 40 cm. El personal que realiza trabajos de reubicación del ducto sobre soportes existentes debe conocer:

- La senda y los accesos del tramo.
- El sistema de comunicaciones empleadas.
- Espaciamiento que debe existir entre soportes de acuerdo a su diámetro.

- Altura de reubicación del ducto.
- Consideraciones Generales:
 - En todos los casos antes de levantar el ducto se debe verificar el estado físico de este.
 - La reubicación sobre soportes existentes (H° A°, piedra soportes H o Y, madera) debe realizarse con equipos de izaje certificados como ser Side Booms, trípode, tecles, fajas de lona, camión pluma.
 - Cuando en la reubicación, se use gato hidráulico de 15 toneladas, debe usarse un tejo adicional para evitar cargas puntuales sobre el ducto.
 - Cuando los soportes sean de madera, la altura a reubicarse no debe ser menor a 15 cm del suelo a la parte inferior del ducto. El ducto nunca debe ser muy levantado de una junta de soldadura o cerca de esta, el punto de izaje debe tener hasta un metro como mínimo de separación de la junta.
 - Los soportes sobre los cuales se va a dejar el ducto deben estar completamente limpios, colocados sobre una base sólida (terreno compacto).
 - El ducto reubicado debe tener una altura según el tipo de soportes a ser utilizado asegurando la integridad del ducto. En caso de que la reubicación sea sobre soportes metálicos H o Y, se deben colocar aislantes de madera (goma de manera temporal) a estos a fin de evitar desgaste del ducto por fricción con el soporte metálico.
 - Al levantar la cañería se debe considerar el peso del ducto a levantar, la capacidad de los equipos y materiales usados para la reubicación, se debe cuidar la deflexión del ducto (no alzar más de 50 cm, si se tiene accesorios en el ducto como ser bridas o válvulas, no más de 30 cm).
 - El espaciamiento entre soportes dependerá del diámetro del ducto de acuerdo a la siguiente tabla: (ASME B 31.8 , 2020)

3.2.4.4.Soldado De Tuberías

Es el proceso de la unión de las tuberías metalizas mediante la aplicación de calor.

3.2.4.4.1. Mano de Obra Calificada

Supervisor, inspector de soldadura, Soldador, Ayudante de soldador y ayudantes generales.

Equipo / Instrumentos / Herramientas Requerías.

3.2.4.4.2. Inspección de Calidad de Soldadura

La inspección de calidad la realiza el jefe de proyecto mediante radiografía.

3.2.4.5. Inspección Radiográfica

Técnica usada para la detección de defectos internos del material como grietas, burbujas o impurezas internos. Especialmente indicadas en el control de calidad de uniones soldadas.

3.2.4.6. Recubrimiento De Tubería

3.2.4.6.1. Aplicación de Cintas

Posterior al encintado de la cañería, se procede a curar los traslapes de los soportes y luego se baja la cañería a su ubicación final en la zanja. En caso de utilizar cintas de revestimientos la cañería enterrada debe ser protegida por:

- Una (1) capa de imprimante (primer).
- Una (1) Capa de cinta anticorrosiva interna.
- Una (1) capa de envoltura externa protectora mecánica.

La cinta debe envolverse en forma de espiral bajo tensión tirante de la mano, aproximadamente 5 a 10 libras por pulgada de ancho de la cinta, excepto 1/3 de vuelta inicial y final que debe pegarse sin tensión, para dar un recubrimiento hermético continuo y ajustado con una disminución de no más de 0,5% del ancho de la cinta.

Cada nuevo rollo debe traslaparse al final del rollo procedente en una longitud mínima de 4“el ángulo de la espiral debe ser paralelo a la espiral aplicado previamente. Deberá tomarse cuidado de manera de que no se formen arugas, pliegues, globos y que la especificación de traslape mantenga de acuerdo a la tabla de ancho de las cintas en función del diámetro del ducto.

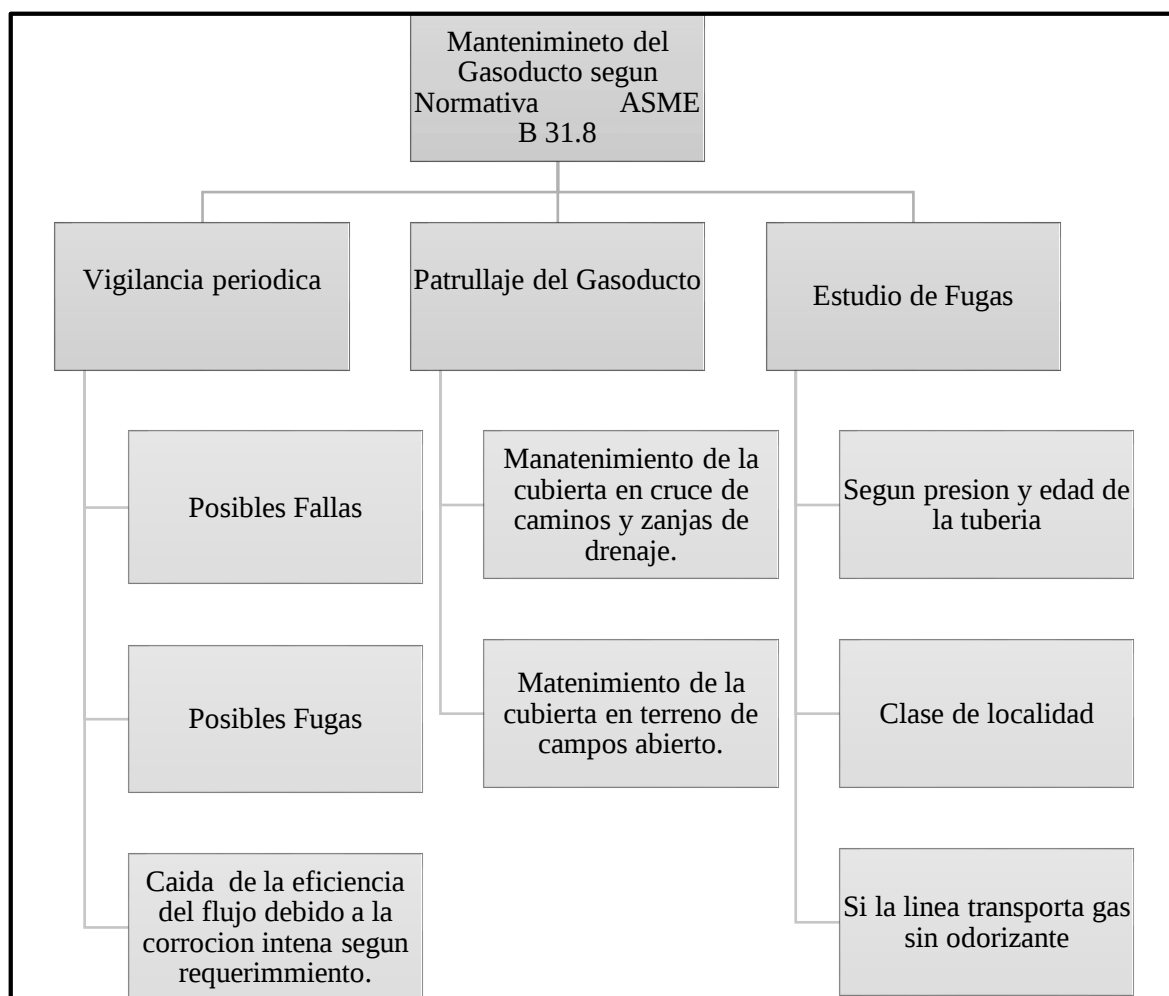
Para codos, el ajuste del traslape será suficiente para preservar la continuidad del revestimiento con el mínimo especificado de traslape.

La envoltura externa, debe ser aplicada en la misma forma que el revestimiento, como se especifica en los parámetros anteriores. El traslape de la envoltura externa nica debe quedar encima del traslape del revestimiento.

3.2.5. Diagrama de flujo del mantenimiento preventivo y correctivo

La figura 8 muestra el plan de mantenimiento que se realizara en el ducto según la normativa.

Figura 8 Diagrama de flujo según normativa ASME B 31.8



Fuente: Elaboración propia en base a datos de la Normativa ASME B 31.1

Con la presente se muestra a gran rasgo el mantenimiento del gasoducto según la normativa ASME B 31.8.

3.3. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN

De acuerdo a la información obtenida, el gasoducto Qhora Qhora – Aranjuez, es muy importante dentro de la red de transporte de gas natural a la planta de Aranjuez, para la generación de energía eléctrica.

La Planta Termoeléctrica Aranjuez, ubicada en la zona de Aranjuez en las inmediaciones de la ciudad de Sucre, capital de Bolivia, está situada a 2.794 metros sobre el nivel del mar. Esta Planta tiene un turbogenerador a gas natural de 18,4 [MW], tres motores dual a gas natural y diésel, con una potencia de 7,6 [MW], y siete motores a gas Jenbacher con una potencia de 10,7 [MW], totalizando una potencia instalada de 36,7 [MW] en toda la Planta (Guaracahi, 2023).

El Gasoducto Qhora Qhora – Aranjuez, alimenta la planta de Generación de Energía Eléctrica de la Planta Aranjuez tanto a los motores Dual, Nordberg y a la turbina, el gas proveniente de Qhora Qhora a través de la tubería de red primaria de 8 pulgadas al turbogenerador que pasa a una presión de 20 bares para generar 37 megavatios (MW) de potencia, esto provee energía aproximadamente a 68.000 familias bolivianas.

Por este el plan de mantenimiento del gasoducto Qhora – Aranjuez, debe garantizar un flujo continuo de gas natural, por lo que las actividades de mantenimiento preventivo deben ser llevadas a cabo de manera continua durante toda la gestión, de manera que se pueda disminuir al máximo el riesgo de interrupción de gas a la planta.

En este aspecto, es muy importante analizar las características de otras experiencias de plan de mantenimiento de gasoductos, de otros países.

La investigación de Christian A. Tecamahltzi Casiano, titulada “Diseño, Mantenimiento de Ductos y Transportación de Gas Natural”, aborda el tema del mantenimiento de un gasoducto ubicado en el estado de Chiapas-México (Tecamahltzi C., 2013). En este estudio el autor establece que la construcción y mantenimiento de gas natural en el estado de Chiapas-México, tiene un diámetro de 32’ y una extensión de 400 km. El autor propone dos sistemas de mantenimiento del gasoducto. Un sistema de mantenimiento menor, llevado a cabo a través de

actividades de mantenimiento preventivo, continuo y un sistema de mantenimiento mayor, cada 5 años, en el que se apliquen sobre todo medidas correctivas y preventivas. El mantenimiento mayor de acuerdo a lo planteado por el autor debe implicar la reparación general del gasoducto incluyendo la sustitución parcial de ductos que incluso no fueron dañados, pero que sí muestran niveles de riesgo, que deben ser evitados para no sufrir daños.

Un segundo trabajo muy importante sobre el tema, es el Luis R. Teixeira J., cuyo título de investigación es “Plan Piloto de un Sistema de Información para la Operación, Inspección y Mantenimiento del Subsistema de transporte de gas Arichuna-Figueroa: hacia una visión sistémica” (2009). En este trabajo, que tiene un enfoque multidisciplinario se realiza una propuesta de diseño y mantenimiento en base a una matriz de riesgos. La matriz de riesgos es un importante compendio de información que se complementa con la que utilizan en el día a día. Algunos manifestaron descubrir aspectos reservados a otras gerencias que enriquecen su visión del negocio.

La matriz indicó cual es el tramo del subsistema al que se debería dedicar más horas-labor de inspección (tramo Monteclaro-La Mariposa) debido a la particularidad del mismo, considerando aspectos climáticos, de relieve, de diseño, de comunidad, etc.

La matriz adquiere inicialmente un gran valor didáctico, donde el personal que no está familiarizado con los detalles de un corredor de tuberías, gana una visión general y sistémica de lo que es un corredor, los aspectos críticos, y de cuáles son los puntos de interés. Esta herramienta permite aprender los detalles del subsistema en particular, en este caso el Arichuna-Figueroa. Toma conciencia de las distancias, de los desniveles del terreno, de las comunidades cercanas, etc., de los detalles técnicos, humanos y organizacionales que conforman el sistema.

Las propuestas técnicas, incluyen del mantenimiento del gasoducto, nace de encuentros multidisciplinarios, intercambiando información, fomentando la comunicación horizontal, mejorando continuamente la gestión, etc. El objetivo final, de estos encuentros

multidisciplinarios, radica en fomentar la comunicación horizontal en el equipo para luego llegar a generar una visión sistémica del negocio.

Fruto de estos encuentros en el aspecto del mantenimiento se sugiere la priorización de actividades preventivas a través de operativos continuos de inspección, especialmente en zonas urbanas, próximas al gasoducto.

Finalmente, se puede hacer referencia a la investigación de Claudia Romero R., Álvaro Arias A- y Leonardo Sarmiento S., cuya investigación fue: “Estrategia de Mantenimiento basada en RCM para un gasoducto de transporte, Tramo Otero–Santana” (Romero R., Arias A., & Sarmiento S., 2012). El RCM es un tipo de mantenimiento Centrado en Confiabilidad. La aplicación de la metodología CRM a la infraestructura de los gasoductos de TGI S.A. ESP y en el caso particular al sector conocido como el tramo Otero–Santana con sus ramales Togui y Vélez, busca redefinir y ajustar las rutinas para las actividades de mantenimiento existente para conseguir optimización de los costos reales de mantenimiento, permitiendo una operación confiable y segura, con énfasis en las unidades funcionales evaluadas y que resultados críticos en la matriz de criticidad.

En esta investigación se utiliza la herramienta de matriz de criticidad, que es un enfoque complementario a la matriz de riesgos. El mantenimiento preventivo, destina mayores recursos a los factores de mayor criticidad.

CAPÍTULO III: CONCLUSIONES

- Se realizó la verificación del estado actual de gasoducto, en base a la información obtenida de la realización de inspección visual por todo el ducto se puso evidenciar daños visibles, corrosión, deformaciones realizadas por terceros en la estructura de la tubería.
- Se realizó un análisis de fallas recurrentes a través del estudio histórico del ductos donde de evidencio que, dichas fallos son a causa del crecimiento poblacional en la ciudad de sucre por donde cruza la tubería, causando así que la tubería corra riesgo de sufrir fugas, abolladuras, levantamiento de la cañería, provocando esto inseguridad en la población, esta evaluación se realizó con la finalidad de solucionar los problemas identificados, planificando en función a ella los trabajos a realizar, de acuerdo a procedimientos de mantenimiento preventivo y correctivo.
- Los procedimientos a utilizar para el mantenimiento preventivo y correctivo se basan en el anexo 3 operaciones mantenimiento y operación de redes de gas, ASME B 31.8 para la inspección y mantenimiento de la cañería.
- Se elaboró el plan de mantenimiento para solucionar los problemas identificados, habiendo determinado el procedimiento adecuado para el mantenimiento preventivo y correctivo, contemplando la planificación de mantenimiento.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ASME B 31.8 . (2020). Diseño, operación, mantenimiento y reparación de ductos y tuberías de distribución y transmisión de gas natural<.
- DISTRITO REDES DE GAS CHUQUISACA. (2020). *DISTRITO REDES DE GAS CHUQUISACA* . Obtenido de <https://www.ypfb.gob.bo>
- ENDE Guaracachi. (2016). *Gasoducto Qhora Qhora -Aranjuez. Planificación y funcionamiento*. Cochabamba: Pub. ENDE Guaracachi.
- Espejel, E. F. (2 de enero de 2023). *DISEÑO Y ANALISIS DE LA RED INTERNA DE CODUCCION Y DISTTTRIBUCION DE GAS NATURAL*. Obtenido de tesis.ipn.mx: <https://tesis.ipn.mx/jspui/bitstream/123456789/11562/1/30.pdf>
- LIMPRO NACIONAL . (2013). *LIMPRO*. Obtenido de <http://tangara.uis.edu.co/>
- NORMAS RAN ANH. (27 de JULIO de 2015). *RESOLUCION ADMINISTRATIVA DE NORMAS* . Obtenido de ANH: <https://www.anh.gob.bo>
- NOTAS YPFB. (2021). *NOTAS YPFB*. Obtenido de www.ypfb.gob.bo
- NOTAS, Y. (2021). *YPFB* . Obtenido de www.ypfb.gob.bo
- PDVSA. (2005). *INSPECCION INTERNA DE GASODUCTOS OLEODUCTOS Y POLIDUCTOS CON HERRAMIENTA INSTRUMENTADA*.
- Quiñonez, E. (05 de 08 de 2023). *Operación y mantenimiento de un gasoducto: Garantizando un flujo continuo y seguro de gas*. Obtenido de inspenet.com: <https://inspenet.com/articulo/operacion-y-mantenimiento-de-un-gasoducto/>, consultado en fecha: 24/11/2023
- Salguero P., J. (2018). *Gasoductos de Bolivia*. Santa Cruz: Monografía de Postgrado en "Transporte de Hidrocarburos". Universidad Gabriel RENé Moreno.
- SAMPIERI. (2014). *METODOLOGIA DE LA INVESTIGACION*. MEXICO: MC GRAW HILL EDUCATION.
- Tecamahltsi C., C. (2013). *Diseño, Mantenimiento de Ductos y Transportación de Gas Natural*. México: Tesis de Ingeniero Químico Petrolero - Insituto Politécnico Nacional.
- YPFB TRANSPORTES. (2017). *Terminología en las instalaciones de gasoductos*. Villamontes: Pub. YPFB Transportes.

ANEXOS

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS PARA EL MANTENIMIENTO

LISTA DE TRAMOS Y TRABAJOS A REALIZAR

Anexo 1: Mantenimiento en cruces de caminos

N°	Progresiva		Cantidad	Unidad	Diámetro	Trabajo	Observaciones
	Inicial	Final					
1	2+515	8+010	131	M	8"	Limpiar, revestir y profundizar entierro según norma	La longitud corresponde a la suma de las distancias en todos los cruces.
2	1+776	1+850	74	M	8"	Inspeccionar e instalar revestimiento	Verificar estado de revestimiento en ducto enterrado
3	7+975	7+985	10	M	8"	Limpieza de tierra sobre gasoducto	Limpieza de tierra y material de relleno
4	7+291	7+300	9	M	8"	Enterrar y revestir tubería por ampliación de carretera	
5	4+130	4+174	48	M	8"	Cambio y aumento de tramo, entierro.	Cambio de codo existente, realizar variante para que el gasoducto se entierre 1.50 Mts paralelo al ducto de YPFT

Fuente: Extraído de archivos de la empresa de ENDE Guaracachi

Anexo 2: Mantenimiento de Cámaras y Válvulas de Venteo

Nro.	Progresiva		Cantidad	Unidad	Diámetro	Trabajo
	Inicial	Final				
1	3+991		4	M2	8"	Construcción de cámara y mantenimiento de válvula
2	6+232		4	M2	8"	Construcción de cámara y mantenimiento de válvula
3	7+406		4	M2	8"	Construcción de cámara y mantenimiento de válvula

Fuente: Extraído de archivos de la empresa de ENDE Guaracachi

Anexo 3: Cambio de Soportes 2" y Reposición de Soportes en Mal estado

Nro.	Progresiva		Cantidad	Unidad	Diámetro	Trabajo	Observaciones
	Inicial	Final					
1	2+135	9+064	10	UN	6"-8"	Cambio de aislante en soporte	
2	7+100	7+120	2	UN	8"	Cambio de aislante en soporte	
3	6+199		1	UN	8"	Cambio de soporte por otro de 6"	
4	6+216		1	UN	8"	Instalar nuevo soporte de 6"	
5	7+264		1	UN	8"	Instalar nuevo soporte de 6" para puente	
6	2+658		2	M	8"	Reposición de cable	Cable de acero 2/8"
7	3+171		2	M	8"	Reposición de cable	Cable de acero 2/8"
8	7+250		1	UN	8"	Tesado de estribo flojo	
9	7+264		1	UN	8"	Retiro de cable a la conclusión de la instalación del nuevo soporte.	

Fuente: Extraído de archivos de la empresa de ENDE Guaracachi

Anexo 4: Entierro de Tubería en Zonas con Urbanizaciones Consolidadas

Nro.	Progresiva		Cantidad	Unidad	Diámetro	Trabajo	Observaciones
	Inicial	Final					
1	0+136	2+028	1892	M	6"	Realizar el enterrado y revestimiento en zonas urbanizadas consolidadas	Urbanización Azari
2	2+570	2+630	60	M	6"	Colocar soportes y reacomodar tubería	
3	2+680	2+770	90	M	8"	Colocar soportes y reacomodar tubería	
4	7+311	7+650	339	M	8"	Enterrar y revestir tubería	Zona urbana con colegio
5	8+220	8+595	375	M	8"	Enterrar y revestir tubería	Zona Urbana
6	9+160	9+440	280	M	8 y 6"	Enterrar y revestir tubería	Zona Alto Aranjuez, zona urbana

Fuente: Extraído de archivos de la empresa de ENDE Guaracachi

Anexo 5: Instalación de Protección Catódica en Tramos Enterrados en Zona Urbanizada

N°	Progresiva		Cantidad	Unidad	Diámetro	Trabajo	Observaciones
	Inicial	Final					
1	0+136	2+028	1892	M	6"	Instalar protección catódica	Urbanización Azari
2	7+311	7+650	339	M	8"	Instalar protección catódica	Zona urbana con colegio
3	8+220	8+595	375	M	8"	Instalar protección catódica	Zona Urbana
4	9+160	9+440	280	M	8 y 6"	Instalar protección catódica	Zona Aranjuez, Alto zona urbana

Fuente: Extraído de archivos de la empresa de ENDE Guaracachi