

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO
FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINAS Y METALÚRGICA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA



TESIS

**APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA DE FISCALIZACIÓN
GEOTÉCNICA BASADA EN RIESGOS Y TECNOLOGÍA DE
INMERSIÓN EN LOS SISTEMAS DE TRANSPORTE POR
DUCTOS DE GAS NATURAL DEL PERÚ – 2022**

PRESENTADO POR:

Br. WIN KEVIN LUCANA ÁLVAREZ

**PARA OPTAR EL TÍTULO
PROFESIONAL DE INGENIERO
GEÓLOGO**

ASESOR:

DR. RONALD LUIS LOPEZ ZAPANA

CUSCO – PERÚ
2024

INFORME DE ORIGINALIDAD

(Aprobado por Resolución Nro. CU-303-2020-UNSAAC)

El que suscribe, **Asesor** del trabajo de investigación/tesis titulada:.....

APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA DE FISCALIZACIÓN
GEOTÉCNICA BASADA EN RIESGOS Y TECNOLOGÍA DE
INTERSIÓN EN LOS SISTEMAS DE TRANSPORTE POR DUCTOS DE GAS NATURAL
DEL PERÚ - 2022

presentado por: WIN KEVIN LUCANA ÁLVAREZ con DNI Nro.: 70421935... presentado
por: con DNI Nro.: para optar el
título profesional/grado académico de INGENIERO GEÓLOGO.....

Informo que el trabajo de investigación ha sido sometido a revisión por 01 veces, mediante el
Software Antiplagio, conforme al Art. 6° del **Reglamento para Uso de Sistema Antiplagio de la**
UNSAAC y de la evaluación de originalidad se tiene un porcentaje de 03%.

Evaluación y acciones del reporte de coincidencia para trabajos de investigación conducentes a grado académico o
título profesional, tesis

Porcentaje	Evaluación y Acciones	Marque con una (X)
Del 1 al 10%	No se considera plagio.	X
Del 11 al 30 %	Devolver al usuario para las correcciones.	
Mayor a 31%	El responsable de la revisión del documento emite un informe al inmediato jerárquico, quien a su vez eleva el informe a la autoridad académica para que tome las acciones correspondientes. Sin perjuicio de las sanciones administrativas que correspondan de acuerdo a Ley.	

Por tanto, en mi condición de asesor, firmo el presente informe en señal de conformidad y adjunto la primera página del reporte del Sistema Antiplagio.

Cusco, 30 de noviembre de 2024.....


Firma
Post firma Romel López Zapata
Nro. de DNI 23523900
ORCID del Asesor 0000-0003-0148-6535

Se adjunta:

1. Reporte generado por el Sistema Antiplagio.
2. Enlace del Reporte Generado por el Sistema Antiplagio: oid: 27259:409430432

Win Kevin Lucana Alvarez

Aplicación de la metodología de fiscalización geotécnica basada en riesgos y tecnología de inmersión en los sistemas d...

 Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco

Detalles del documento

Identificador de la entrega

trn:oid:::27259:409430432

Fecha de entrega

25 nov 2024, 3:25 p.m. GMT-5

Fecha de descarga

30 nov 2024, 5:17 p.m. GMT-5

Nombre de archivo

Tesis - Win Kevin Lucana Alvarez-ACTUALIZADO.pdf

Tamaño de archivo

8.5 MB

108 Páginas

28,616 Palabras

162,627 Caracteres

3% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...

Filtrado desde el informe

- Bibliografía
- Texto citado
- Texto mencionado
- Coincidencias menores (menos de 20 palabras)

Exclusiones

- N.º de coincidencias excluidas

Fuentes principales

- 3%  Fuentes de Internet
- 1%  Publicaciones
- 1%  Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad

N.º de alerta de integridad para revisión

-  **Texto oculto**
391 caracteres sospechosos en N.º de páginas
El texto es alterado para mezclarse con el fondo blanco del documento.

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitirían distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.

CONTENIDO

RESUMEN	I
ABSTRAC	II
INTRODUCCIÓN	1
CAPITULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	2
1.1 Descripción del problema	2
1.2 Formulación del problema	3
1.2.1 Problema general	3
1.2.2 Problemas específicos	3
1.3 Justificación de la investigación	3
1.4 Objetivos	4
1.4.1 Objetivos generales	4
1.4.2 Objetivos específicos	4
CAPITULO II: MARCO TEÓRICO	5
2.1 Marco teórico referencial	5
2.1.1 Antecedentes internacionales	5
2.1.2 Antecedentes nacionales	5
2.1.3 Antecedentes Locales	6
2.2 Marco teórico conceptual	6
2.2.1 Definiciones	6
2.2.2 Área potencial de impacto	9
2.2.3 Clasificación de áreas de impacto	10
2.2.4 Sistemas de Transporte por Ductos de Gas Natural en el Perú	11
2.2.5 Método Multicriterio: Análisis Jerárquico	14
2.2.6 Índice de consistencia (RC)	15
2.2.7 Relación de consistencia (RC)	16
CAPITULO III: HIPÓTESIS Y VARIABLES	17
3.1. Formulación de hipótesis	17
3.1.1. Hipótesis general	17
3.1.2. Hipótesis específica	17
3.2. Identificación de variables e indicadores	17
3.2.1. Variables	17
3.3. Operación de variables	2
CAPITULO IV: METODOLOGÍA	19
4.1. Aspectos metodológicos	19
4.2. Población de estudio	20
4.3. Muestra	20
4.4. Unidad de análisis	20
4.5. Técnicas de selección de muestra	20
4.6. Técnicas e instrumentos de recolección de datos	20

4.6.1. Técnicas	20
4.6.2. Instrumentos	21
4.7. Recolección de datos	21
4.7.1. Información remitida por las empresas fiscalizadas	21
4.7.2. Información obtenida mediante verificación <i>in situ</i>	22
4.7.3. Información obtenida mediante levantamientos aerofotogramétricos	23
4.7.4. Información obtenida mediante imágenes satelitales	24
4.7.5. Información obtenida mediante vuelos especiales	24
CAPITULO V: GEOLOGÍA DE DUCTOS	25
5.1 Geología de AEP	26
5.2 Geología de EGP	26
5.3 Geología de PLNG	29
5.4 Geología de PPC	33
5.5 Geología de REP	33
5.6 Geología de TGP	36
5.7 Geomorfología	41
5.8 Hidrología	42
5.9 Geoamenazas	43
5.9.1 Erosión	43
5.9.1.1 erosión laminar	44
5.9.1.2 erosión en surcos	44
5.9.1.3 erosión en cárcavas	44
5.9.2 Geoamenazas geotécnicas	46
5.9.2.1 Deslizamientos (landslides)	46
5.9.2.2 Reptación (Creep)	47
5.9.2.3 Flujos	47
5.9.2.4 Caída de rocas (Rockfall)	48
5.9.3 Geoamenazas hidrotécnicas	48
5.9.3.1 Socavación	49
5.9.3.2 Avulsión y rectificación de meandros	49
5.9.3.3 Erosión lateral	50
5.9.3.4 Intrusión (Encroachment)	50
CAPITULO VI: GEOTECNIA DE DUCTOS	51
6.1 Estabilidad del DDV y Control de la erosión	51
6.1.1 Cortacorrientes	52
6.1.2 Canales colectores	52
6.1.3 Geosintéticos	53
6.1.4 Trinchos	54
6.1.5 Pilotes y micropilotes	54
6.1.6 Sistema de contención ErdoX	55
6.1.7 Gaviones	55
6.1.8 Colchonetas	56
6.1.9 Check Dams	56
6.1.10 Rip rap	57
6.2 Monitoreo geotécnico	57

6.2.1 Instrumentación geotécnica	58
6.2.1.1 Inclinómetro	58
6.2.1.2 Strain Gages	59
6.2.1.3 Piezómetro	59
6.2.1.4 Fibra óptica	60
CAPITULO VII: METODOLOGÍA DE FISCALIZACIÓN BASADA EN RIESGOS (MFBR)	61
7.1 Parámetros Geotécnicos	62
7.1.1 Parámetro geotécnico: Clima (Lluvia)	62
7.1.2 Parámetro Geotécnico: Fuerzas externas	63
7.1.3 Parámetro Geotécnico: Pendientes del terreno	66
7.1.4 Parámetro Geotécnico: Estudios Geológicos/Geotécnicos	66
7.1.5 Parámetro Geotécnico: Monitoreo Geotécnico	68
7.2 Análisis Multicriterio de la MFGBR	71
7.3 Índice de consistencia de la MFGBR	72
7.4 Relación de consistencia de la MFGBR	72
7.5 Priorización	73
CAPITULO VIII: CASO DEL KP 181+000 al KP 185+000	75
8.1. Ubicación	75
8.2. Definición de componentes	76
8.3. Evaluación de parámetro geotécnico: Clima (Lluvia)	76
8.4. Evaluación de parámetro geotécnico: Fuerzas externas	77
8.5. Evaluación de parámetro geotécnico: Pendientes del terreno	78
8.6. Evaluación de parámetro geotécnico: Estudios Geológicos/ Geotécnicos	79
8.7. Evaluación de parámetro geotécnico: Monitoreo Geotécnico	80
8.8. Cálculo de priorización	81
CAPITULO IX: TECNOLOGÍA DE INMERSIÓN	83
9.1 Desplazamiento humano:	86
9.2 Experiencia de fiscalización:	86
9.3 Perspectiva de fiscalización:	87
9.4 Capacidad de ampliación óptica:	87
9.5 Control de parámetros externos:	87
CAPITULO X: RESULTADOS	88
10.1. Área efectiva fiscalizada	88
10.2. Costos de fiscalización por área efectiva	89
10.3. Área Efectiva de Mantenimiento Preventivo	90
10.4. Disminución de área potencial de impacto ambiental	91
10.5. Frecuencia de fallas del Sistema de Transporte de GN/LGN	92

CONCLUSIONES	93
RECOMENDACIÓN	94
REFERENCIAS	95
ANEXOS	98
ANEXO A: Matriz de consistencia	99
ANEXO B: Clasificador por objeto del gasto	100
ANEXO C: Ejemplo de hoja de cálculo de priorización por la MFBR	101

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura N° 01: Matriz de Consumo de Energía en el Perú	01
Figura N° 02: Origen de fallos mecánicos en los STD en el Perú	02
Figura N° 03: Área potencial de impacto	09
Figura N° 04: Clasificación de áreas de impacto	10
Figura N° 05: Ubicación geográfica de los STD del Perú	11
Figura N° 06: Recorrido del STD operado por la empresa TGP	12
Figura N° 07: Evolución Histórica de la longitud de los STD del Perú	12
Figura N° 08: Escala de Saaty 1980	14
Figura N° 09: Aplicativo ArcGIS Survey123 y encuesta UTDGN	22
Figura N° 10: Ejemplo de formato de reporte diario	22
Figura N° 11: Ejemplo de lista de verificación en campo - Geotecnia	23
Figura N° 12: Ejemplo de resultados de los levantamientos aerofotogramétricos	23
Figura N° 13: Determinación de la inestabilidad geomorfológica	41
Figura N° 14: Ejemplo de geoformas identificadas	42
Figura N° 15: Ejemplo de cruces de STD con cursos de agua	42
Figura N° 16: Proceso de formación de surcos y cárcavas	44
Figura N° 17: Procesos de erosión en cárcavas y surcos	45
Figura N° 18: Cárcavas en DDV	45
Figura N° 19: Deslizamiento rotacional y traslacional	46
Figura N° 20: Reptación	47
Figura N° 21: Clasificación de flujos	47
Figura N° 22: Caída de rocas	48
Figura N° 23: Socavación	49
Figura N° 24: Avulsión y rectificación de meandros	49
Figura N° 25: Erosión lateral	50
Figura N° 26: Intrusión	50
Figura N° 27: Obras geotécnicas en DDV y alrededores	51
Figura N° 28: Cortacorrientes	52
Figura N° 29: Diagrama de separación de cortacorrientes	52
Figura N° 30: Canales colectores	53
Figura N° 31: Instalación de geosintéticos	53
Figura N° 32: Instalación de trinchos	54
Figura N° 33: Pilotes y micropilotes	54
Figura N° 34: Sistema de contención ErdoX	55
Figura N° 35: Gaviones	55
Figura N° 36: Colchonetas	56
Figura N° 37: Check Dams	56
Figura N° 38: Rip-rap	57
Figura N° 39: Instalación de instrumentación geotécnica	58
Figura N° 40: Inclínómetro	58
Figura N° 41: Strain gages	59
Figura N° 42: Piezómetro	59
Figura N° 43: Fibra óptica	60
Figura N° 44: Diagrama de metodología de fiscalización basada en riesgos	61

Figura N° 45: Las ocho regiones naturales del Perú	62
Figura N° 46: Diagrama de Flujo - Fuerzas Externas	64
Figura N° 47: Geoprocesamiento - Pendientes del terreno	66
Figura N° 48: Diagrama de flujo - Estudios Geológicos/Geotécnicos	67
Figura N° 49: Diagrama de Flujo - Monitoreo geotécnico	69
Figura N° 50: Ubicación de zonas de riesgo identificadas	75
Figura N° 51: Componentes considerados – Caso práctico	76
Figura N° 52: Clima (Lluvia) – Caso práctico	76
Figura N° 53: Fuerzas externas – Caso práctico	77
Figura N° 54: Pendientes de terreno – Caso práctico	78
Figura N° 55: Estudios Geológicos/ Geotécnicos – Caso práctico	79
Figura N° 56: Monitoreo Geotécnico – Caso práctico	80
Figura N° 57: Priorización – Caso práctico	81
Figura N° 58: Dron: Matriz M30	83
Figura N° 59: Diagrama de procesos - uso de tecnología de inmersión	84
Figura N° 60: Uso de RPAS con tecnología convencional	85
Figura N° 61: Supervisión con dron convencional	85
Figura N° 62: Uso de RPAS con tecnología de inmersión	86
Figura N° 63: Alcance de los sistemas RPAS	87
Figura N° 64: Variación del área efectiva fiscalizada durante el año 2022	89
Figura N° 65: Costo de área efectiva fiscalizada durante el año 2022	90
Figura N° 66: Área involucrada en acciones de mantenimiento preventivo	91
Figura N° 67: Disminución de área potencial de impacto ambiental	92
Figura N° 68: Frecuencia de fallas de los STD de GN/LGN	92

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla N° 01: Características técnicas de los STD del Perú	13
Tabla N° 02: Valores del Índice Aleatorio para los diferentes “n”	16
Tabla N° 03: Cuadro de operacionalización de variables	18
Tabla N° 04: Instrumentos de investigación	21
Tabla N° 05: Ejemplos de capacidad de carga promedio	25
Tabla N° 06: Problemas geotécnicos relacionados a las formaciones geológicas	25
Tabla N° 07: Amenazas independientes del tiempo	43
Tabla N° 08: Condiciones climáticas de las regiones naturales del Perú	63
Tabla N° 09: Parámetro geotécnico – Lluvia (Clima)	63
Tabla N° 10: Parámetro geotécnico – Fuerzas externas (Movimientos en masa)	65
Tabla N° 11: Parámetro geotécnico – Pendiente del terreno	66
Tabla N° 12: Parámetro geotécnico – Estudios geológicos/geotécnicos	68
Tabla N° 13: Parámetro geotécnico – Frecuencia en el monitoreo geotécnico	70
Tabla N° 14: Matriz de comparación de pares de la MFGBR	71
Tabla N° 15: Matriz normalizada de la MFGBR	71
Tabla N° 16: Vector prioridad de la MFGBR	71
Tabla N° 17: Multiplicación de matrices de la MFGBR	72
Tabla N° 18: Cálculo de lambdas de la MFGBR	72
Tabla N° 19: Ejemplo de componentes de la MFGBR	73
Tabla N° 20: Cálculo de índice de priorización de la MFGBR	73
Tabla N° 21: Ejemplo de cálculo de prioridad de la MFGBR	74
Tabla N° 22: Prioridades de la MFGBR y acciones de fiscalización mínimas	74
Tabla N° 23: Componentes considerados – Caso práctico	76
Tabla N° 24: Clima (Lluvia) – Caso práctico	77
Tabla N° 25: Fuerzas externas – Caso práctico	77
Tabla N° 26: Pendientes de terreno – Caso práctico	78
Tabla N° 27: Estudios Geológicos/ Geotécnicos – Caso práctico	79
Tabla N° 28: Monitoreo Geotécnico – Caso práctico	80
Tabla N° 29: Vector priorización – Caso práctico	81
Tabla N° 30: Calculo de priorización – Caso práctico	81
Tabla N° 31: Acciones de fiscalización – Caso práctico	82
Tabla N° 32: Programación de fiscalización – Caso práctico	82
Tabla N° 33: Indicador - Área efectiva fiscalizada	88
Tabla N° 34: Indicador - Costos de fiscalización por área efectiva	89
Tabla N° 35: Indicador - Área Efectiva de Mantenimiento Preventivo	91
Tabla N° 36: Indicador - Disminución de área potencial de impacto ambiental	91

AGRADECIMIENTOS

Inicialmente, agradecer a Dios quien permitió cumplir mis metas propuestas y las bendiciones hacia mí y mi familia, asimismo, por poner en mi camino a personas muy importantes para mi vida, quienes aportan positivamente en mis decisiones y desarrollo personal y profesional.

A mi familia, por no rendirse en brindarme su apoyo incondicional, a mi padre León, mi hermana Wendy y especialmente a mi madre Francisca, quien me dio los ánimos a continuar en todo lo que me planteo, apoyándome en momentos difíciles y alegres, a quien debo todo lo obtenido y lo que obtendré, por sus palabras, correcciones y enseñanzas.

Agradecer a mis compañeros de trabajo en la Unidad de transporte por ductos de gas natural de Osinergmin, quienes me apoyaron en todo momento y me impulsaron inicialmente en realizar la presente tesis, así como, aconsejarme a seguir mejorando mis capacidades y conocimientos: José Unzueta, Edilberto Gutiérrez, Alfredo Pilares, Roger López, Guillermo Casapía, Paolo Meléndez, José Robles, Katerine Torres, Gerardo Meza, Irma Morales, José Castillo, Henry Chuchullo, Giscard Cursinio y Helín Chilingano.

Agradecer a mi asesor Dr. Ronald Luis López Zapana, por su dirección y consejos en la elaboración de este trabajo de investigación

Asimismo, agradecer a mis amigos que me acompañaron en mi camino universitario, así como también, su aliento en terminar la presente tesis: Frank Loayza, Fabricio Olivera, Víctor Noallca y Smith Montiel.

Agradecer a la Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco, por los buenos recuerdos en sus aulas y permitirme conocer a excelentes amigos que, si bien no son todos nombrados aquí, pero son importantes en mi vida profesional y personal.

RESUMEN

El presente trabajo de investigación tiene como objetivo fundamental conocer los resultados de la “Aplicación de la metodología de fiscalización geotécnica basada en riesgos y tecnología de inmersión en los sistemas de transporte por ductos de gas natural del Perú – 2022”, en cuanto a la gestión de las acciones de fiscalización geotécnica a lo largo de 2550 km de ductos que atraviesan zonas con una gran variedad de características geotécnicas agrestes y muchas veces de difícil acceso, para ello, se realiza todo el proceso de identificación de geoamenazas en campo que puedan afectar la integridad de los ductos de transporte de gas natural, provocando roturas, abolladuras u otros problemas relacionados al clima y fuerzas externas.

Estos datos recolectados son agrupados en tramos, también denominados componentes, de acuerdo a sus características geotécnicas similares y riesgo; para dichos componentes identificados se definen los descriptores de cada parámetro geotécnico que se utilizan en el análisis multicriterio, en el cual se apoya la metodología de fiscalización geotécnica basada en riesgos.

Con los valores obtenidos del análisis multicriterio, se realiza los cálculos de priorización para cada componente, cuyos resultados sustentan las acciones de fiscalización llevadas a cabo en todos los agentes fiscalizados o empresas operadoras de ductos en el Perú, así como también mejoran los resultados obtenidos respecto a una fiscalización tradicional.

Asimismo, con la implementación de la tecnología de inmersión se potenció el impacto positivo de esta metodología de fiscalización geotécnica, lo cual se reflejó mediante diferentes indicadores que demostraron el incremento de más de 400% y 700% del área efectiva fiscalizada con la aplicación de esta metodología y tecnología respectivamente, la reducción de los costos de fiscalización en más del 80% y 90% con la aplicación de esta metodología y tecnología respectivamente, aumento del área efectiva de mantenimiento preventivo en más de 4%, reducción en el área potencial de impacto ambiental y la reducción del índice de frecuencia de fallas el cual en el Perú es de 0.35.

Palabras claves: gestión, fiscalización, geoamenazas, geotecnia, ductos, gas natural, tecnología de inmersión.

ABSTRAC

The present research work has as its fundamental objective to understand the results of the "Application of the geotechnical inspection methodology based on risks and immersion technology in the natural gas pipeline transport systems of Peru – 2022", regarding the management of geotechnical inspection actions along 2550 km of pipelines that cross areas with a wide variety of harsh geotechnical characteristics and often difficult access. To achieve this, the entire process of identifying geo-hazards in the field that could affect the integrity of the natural gas transportation pipelines is carried out, causing ruptures, dents, or other problems related to climate and external forces.

The collected data are grouped into sections, also called components, according to their similar geotechnical characteristics and risk; for these identified components, the descriptors of each geotechnical parameter are defined, which are used in the multicriteria analysis, on which the geotechnical inspection methodology based on risks is based.

With the values obtained from the multicriteria analysis, prioritization calculations are made for each component, and the results support the inspection actions carried out on all the inspected agents or pipeline operating companies in Peru, as well as improve the results obtained compared to traditional inspection.

Furthermore, with the implementation of immersion technology, the positive impact of this geotechnical inspection methodology was enhanced, which was reflected through different indicators that demonstrated an increase of more than 400% and 700% in the effectively inspected area with the application of this methodology and technology, respectively; the reduction of inspection costs by more than 80% and 90% with the application of this methodology and technology, respectively; an increase in the effective area of preventive maintenance by more than 4%; a reduction in the potential environmental impact area; and a reduction in the failure frequency index, which in Peru is 0.35.

Keywords: management, inspection, geo-hazards, geotechnics, pipelines, natural gas, immersion technology.

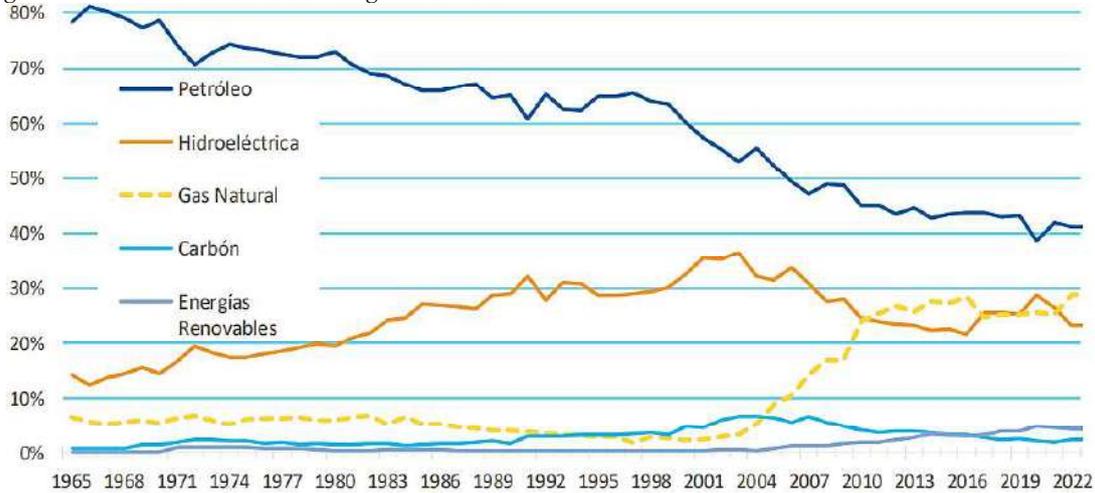


INTRODUCCIÓN

La presente investigación se basó en el marco regulador de Osinergmin, específicamente de la Unidad de Transporte por Ductos de Gas Natural (UTDGN) de la División de Fiscalización de Gas Natural (DSGN). Con la finalidad de mejorar continuamente la fiscalización mediante la implementación de metodologías y tecnologías innovadoras que potencien la eficiencia en el uso de los recursos nacionales.

En el Perú, desde el año 2004 con la puesta en marcha del proyecto Camisea, que permitió un rápido desarrollo de la industria del Gas Natural, se marcó un hito muy importante en el crecimiento económico nacional, evolucionando la matriz energética hasta la actualidad donde se muestra que existe una tendencia marcada en el incremento del uso de fuentes de energía primarias más limpias como el Gas Natural y la disminución en el consumo del petróleo y carbón.

Figura 01: Matriz de Consumo de Energía en el Perú



Fuente: Boletín estadístico de Procesamiento, Producción y Transporte de Gas Natural 2do Trimestre 2023

Distintos autores como Mathias y Zyko en el año 2007, consideraron al transporte por ductos, como una actividad crítica en la cadena de valor de la industria del Gas Natural (Oil&Gas), convirtiéndose muchas veces en el “cuello de botella” entre sus actividades, en vista que, el fallo mecánico de un ducto interrumpiría el transporte del Gas Natural, lo cual, afectaría la distribución nacional y comercialización internacional, teniendo un gran impacto negativo en la economía peruana.

Los sistemas de transporte por ductos de gas natural en el Perú abarcan una extensión de aproximadamente 2550 km y presentan un diseño complejo que incluye estaciones controladoras de presión, estaciones de bombeo, estaciones reguladoras de presión y plantas compresoras. La fiscalización integral de estos extensos sistemas se convierte en una tarea tediosa y desafiante, a menudo debido a la inaccesibilidad y a las condiciones climáticas adversas. Por consiguiente, es imperativo implementar una metodología de fiscalización especializada que garanticen la eficiencia de su gestión y tecnologías nuevas en las acciones de fiscalización que potencien positivamente los resultados obtenidos.



CAPITULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

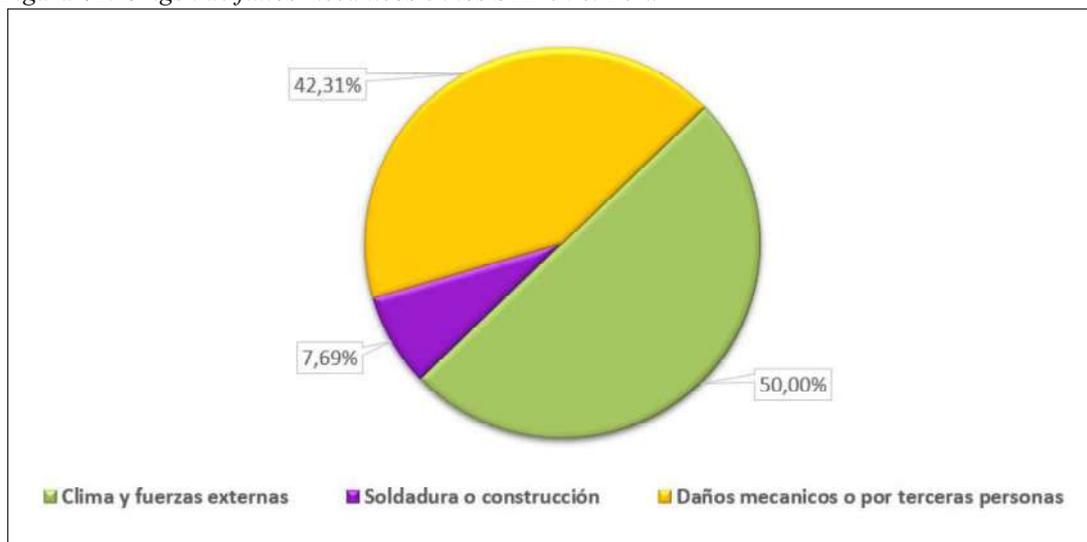
1.1 Descripción del problema

La matriz de consumo de energía en el Perú, nos muestra un incremento marcado en el consumo de Gas Natural desde el año 2004, por lo tanto, es imprescindible garantizar su calidad y continuidad en su transporte.

Desde la perspectiva geográfica, los sistemas de transporte por ductos de gas natural en el Perú recorren costa, sierra y selva, enfrentándose a diversas condiciones climáticas, variados ángulos de talud, presencia de fallas geológicas, cruces con cursos de agua, entre otros, los cuales están vinculados a procesos geológicos que pueden afectar su adecuado funcionamiento, dando lugar a fallos mecánicos en los ductos y por consecuencia producir interrupciones en el transporte de gas natural.

Los registros de fallos mecánicos de los sistemas de transporte por ductos de gas natural en el Perú nos muestran que el 50% tuvieron un origen relacionado al clima y fuerzas externas, lo cual se aprecia en la siguiente imagen:

Figura 02: Origen de fallos mecánicos en los STD en el Perú



Fuente: Base de datos – Osinergmin - UTDGN

En ese sentido, es necesario el uso de nuevas metodologías de gestión de la fiscalización más eficientes y eficaces, que usen parámetros geotécnicos y tecnologías innovadoras que logren resultados positivos en la operación de los sistemas de transporte por ductos y de este modo garanticen su continuidad y calidad del gas natural en el Perú.



1.2 Formulación del problema

1.2.1 Problema general

¿Cuáles son los resultados de la aplicación de la metodología de fiscalización geotécnica basada en riesgos y tecnología de inmersión en los Sistemas de Transporte por Ductos de Gas Natural del Perú?

1.2.2 Problemas específicos

- ¿Cuáles son los parámetros geotécnicos que se aplicaron en la metodología de fiscalización geotécnica basada en riesgos?
- ¿Cuál es la priorización obtenida del análisis multicriterio de los parámetros geotécnicos utilizados en la metodología de fiscalización geotécnica basada en riesgos?
- ¿Cuáles son los parámetros en los que se intervienen con el uso de la tecnología de inmersión en la fiscalización geotécnica?
- ¿Cuáles son los indicadores que muestren los resultados obtenidos de la aplicación de la metodología de fiscalización geotécnica basada en riesgos y tecnología de inmersión en los sistemas de transporte por ductos de gas natural?

1.3 Justificación de la investigación

La presente tesis de investigación se justifica de acuerdo a lo siguiente:

- **Científico:** Porque se hace uso de conceptos de ingeniería geológica que contribuirán con el conocimiento científico en cuanto a la gestión de la fiscalización geotécnica de Sistemas de Transporte por Ductos.
- **Social:** El Gas Natural es un recurso muy importante en el Perú para la generación de energía, su masificación se encuentra en la agenda peruana desde el año 2012 para lo cual es necesario contar con sistemas de transporte que aseguren la continuidad y calidad de dicho servicio, de esta manera la fiscalización toma un papel fundamental para garantizar el cumplimiento normativo nacional.
- **Relevancia:** La geología/geotecnia está relacionado en un 50% a los orígenes de fallas mecánicas de Sistemas de Transporte por Ductos en el Perú, lo cual puede ser reducido mediante una correcta fiscalización geotécnica y uso de tecnologías innovadoras, que garanticen el cumplimiento de las normativas vigentes.
- **Viabilidad:** Porque actualmente es aplicado por la Unidad de Transporte por Ductos de Gas natural – UTDGN – Osinergmin, con lo cual mejora la eficiencia y eficacia de las acciones de fiscalización desarrolladas en los Sistemas de Transporte por Ductos de Gas Natural.



1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivos generales

- Determinar los resultados de la aplicación de la metodología de fiscalización geotécnica basada en riesgos y tecnología de inmersión en los sistemas de transporte por ductos de gas natural.

1.4.2 Objetivos específicos

- Identificar los parámetros geotécnicos que se aplicaran en la metodología de fiscalización geotécnica basada en riesgos
- Determinar la priorización obtenida mediante el análisis multicriterio de los parámetros geotécnicos utilizados en la metodología de fiscalización geotécnica basada en riesgos
- Identificar los parámetros en los que se intervienen con el uso de la tecnología de inmersión en la fiscalización geotécnica
- Establecer los indicadores que muestren los resultados obtenidos de la aplicación de la metodología de fiscalización geotécnica basada en riesgos y tecnología de inmersión en los sistemas de transporte por ductos de gas natural en el Perú



CAPITULO II: MARCO TEÓRICO

2.1 Marco teórico referencial

2.1.1 Antecedentes internacionales

Existen varias investigaciones internacionales relacionadas a sistemas de transporte por ductos y la geotecnia de este tipo de proyectos de la industria Oil&Gas:

- La norma **ASME B31.8S**, “Managing System Integrity of Gas Pipelines”, da prioridad a los estándares de fiscalización entendiendo conceptos básicos de integridad, riesgo, amenazas, etc.

Aportó en esta investigación mediante la identificación, análisis, evaluación y la gestión de los riesgos que implica tomar decisiones correctas de continuar o parar las actividades de transporte de gas, además toma de referencia a “Pipeline Research Committee International” (PRCI) que identifica 22 causas que amenazan la integridad de los ductos, entre ellas identifica aquellas amenazas relacionadas con el clima y fuerzas externas considerando las amenazas geotécnicas e hidrotécnicas.

- La norma **ASME B31.8**, “Gas transmission and Distribution Piping Systems”, elaborado por comisiones multidisciplinarios de “The American Society of Mechanical Engineers”.

Aportó en esta investigación al establecer requisitos, procedimientos, pautas, recomendaciones y buenas prácticas para la estandarización del diseño, construcción y mantenimiento de sistemas de tuberías a presión para su operación en forma segura los sistemas de transporte por ducto de gas natural.

- La norma **ASME B31.4**, “Pipeline Transportation Systems for Liquids and Slurries”, elaborado por comisiones multidisciplinarios de “The American Society of Mechanical Engineers”.

Aportó en esta investigación al establecer requisitos, procedimientos, pautas, recomendaciones y buenas prácticas para la estandarización del diseño, construcción y mantenimiento de sistemas de tuberías a presión para su operación en forma segura los sistemas de transporte por ductos de líquidos de Gas Natural.

2.1.2 Antecedentes nacionales

El estudio de ductos en el Perú tuvo un notable incremento con el auge del sector energía que se dio especialmente desde los inicios del proyecto Camisea.

- La investigación “**Una década de monitoreo geotécnico de ductos utilizando el monitoreo distribuido por fibra óptica**”, elaborado por Ravet F., 2016.

Aportó en esta investigación al resaltar que las condiciones naturales en el recorrido de las trazas de los ductos como el clima, sismos, exposición al



permafrost aumentan la probabilidad de falla, por cambios en las propiedades del suelo de forma natural. Es así que, la importancia del monitoreo geotécnico apoyándose en nuevas tecnologías innovadoras, en este caso la fibra óptica, es de mucha importancia controlando las deformaciones y estabilidad del suelo en tiempo real, generando alertas tempranas en zonas remotas y de difícil acceso para su fiscalización.

- La tesis de maestría “**análisis de la integridad mecánica de un tramo de oleoducto afectado por un fenómeno geodinámico**”, elaborado por Yasksetig, 2011.

Aportó en esta investigación al desarrollar dos métodos de verificación de integridad mecánica, antes y después de un deslizamiento, ayudando de esta manera a la toma de decisiones técnico-económicas, además, demuestra que las causas de falla de mayor porcentaje son las causas por daños externos (geotecnia, intervenciones, intrusiones) siendo un 58%.

- El artículo científico “**metodología de supervisión basada en riesgos y uso de tecnología inmersiva en tiempo real en los sistemas de transporte por ductos de gas natural y/o líquidos de gas natural desde la perspectiva de un regulador**”, elaborado por E. Gutierrez, R. Lopez, A. Pilares, J Unzueta; 2023.

Aportó en esta investigación al hacer uso del método de Jerarquías Analíticas de Saaty, que brinda un criterio de aceptabilidad para la priorización de zonas con mayores riesgos para su fiscalización.

2.1.3 Antecedentes Locales

- La tesis “**Diseño de la Red Troncal del Proyecto: Sistema Integrado de Transporte de Gas - Zona Sur del Perú**”, elaborado por Benavides y Arrollo, 2024.

Aportó en esta investigación al describir un diseño técnico basándose en el proyecto “Mejoras a la seguridad energética del país y desarrollo del gasoducto sur peruano” considerando la norma técnica ASME B31.8 y otros, mediante el uso del simulador Aspen Hysys, con lo cual se identifican zonas de interés geotécnico para la implementación de obras geotécnicas.

2.2 Marco teórico conceptual

2.2.1 Definiciones

- 2.2.1.1. **Metodología de fiscalización basada en riesgos:** Es un método que permite gestionar las acciones de fiscalización en los sistemas de transporte por ductos en operación, estableciendo prioridades según a los riesgos geotécnicos a los cuales está expuesto.



- 2.2.1.2. Tecnología de inmersión:** Es una nueva tecnología que hace uso de unos lentes FPV, conectados a distancia con un RPAS, que permiten realizar un análisis más profundo, detallado y en tiempo real.
- 2.2.1.3. Riesgo:** Es conocido comúnmente como la relación entre la probabilidad de un evento que causa una pérdida y la magnitud potencial de esa pérdida. Por lo que se entiende que el riesgo aumenta cuando la probabilidad del evento aumenta o cuando la magnitud de la pérdida potencial aumenta. el riesgo a menudo se expresa en cantidades medibles, como la frecuencia esperada de accidentes, lesiones o pérdidas económicas. Los costos monetarios se utilizan a menudo como parte de una expresión general de riesgo. La definición de riesgo más comúnmente aceptada se expresa a menudo como una relación matemática. (ASME, 2011)
- 2.2.1.4. Fallo mecánico:** La norma ASME 2011, en el contexto de transporte por ductos define una falla como “La liberación no intencional del contenido del ducto”, “La pérdida de la integridad” y “El no cumplimiento eficiente de propósito” son formas de caracterizar una falla del ducto.
- 2.2.1.5. Geotecnia:** Es la ciencia de la evaluación de la capacidad de soporte del suelo y del diseño de cimientos seguros, así como también la solución de problemas relacionados con la ingeniería de la tierra. (Karl Terzaghi, 1948)
- 2.2.1.6. Derecho de Vía (DDV):** Es la franja o faja de terreno donde se ubica el ducto u otros componentes del sistema (válvulas, postes, señalización, toma de potencial, etc.), establecida en las fases de construcción y operación. (Arpel, 2015)
- 2.2.1.7. Ducto:** Conjunto de tuberías, conexiones, accesorios y estación de bombeo o compresión destinados al Transporte de Hidrocarburos. (DS-081-2007-EM).
- 2.2.1.8. Ducto para Uso Propio:** Aquel utilizado para transportar Hidrocarburos de propiedad del titular del Ducto, entre dos Instalaciones de Hidrocarburos sobre las cuales tenga la condición de Operador. (DS-081-2007-EM).
- 2.2.1.9. Ducto principal:** Conjunto de tuberías, equipos e instalaciones destinados a transportar Hidrocarburos, construido en cumplimiento de obligaciones contraídas por el Contratista en un contrato celebrado conforme al artículo 10 de la Ley y destinado a transportar Hidrocarburos producidos bajo dicho contrato. (DS-081-2007-EM).
- 2.2.1.10. Gas natural:** Mezcla de Hidrocarburos en estado gaseoso, puede presentarse en su estado natural como Gas Natural Asociado y Gas Natural no Asociado. Puede ser húmedo si tiene Condensado, o ser seco si no lo contiene. (DS-081-2007-EM).



- 2.2.1.11. Gas natural asociado:** El Gas Natural que se produce conjuntamente con el Petróleo, que estuvo disuelto en él o formó una capa en un reservorio de Petróleo.
- 2.2.1.12. Gas natural no asociado:** Aquel cuya ocurrencia tiene lugar en un Reservorio natural, en el cual, a condiciones iniciales, no hay presencia de Hidrocarburos Líquidos.
- 2.2.1.13. Instalación de Hidrocarburos:** Planta, local, estructura, equipo, Sistemas de Transporte, Sistema de Distribución o embarcación utilizados para buscar, producir, procesar, almacenar, transportar, distribuir o comercializar Hidrocarburos. Dentro de las Instalaciones de Hidrocarburos se comprende a los emplazamientos en superficie y en subsuelo, en el zócalo continental o mar afuera. Las válvulas de bloqueo y accesorios requeridos por el Concesionario del Ducto para la vinculación de Ramales con el Ducto, serán considerados componentes de las instalaciones del Concesionario del Ducto.
- 2.2.1.14. Líquidos de gas natural:** Son aquellos Hidrocarburos provenientes de formaciones productivas de gas natural que se pueden extraer de forma líquida en las instalaciones de campo o en plantas de separación de gas natural. Los líquidos de gas natural incluyen al propano, butano y gasolina natural. (DS-032-200-EM).
- 2.2.1.15. Operador:** Persona que tiene la responsabilidad de la operación, mantenimiento y demás obligaciones en una Instalación de Hidrocarburos.
- 2.2.1.16. Planta de procesamiento:** Instalación donde se cambian las características de los hidrocarburos que se encuentran en la naturaleza, al descomponerlos en los diferentes compuestos que los forman; así como también las posteriores transformaciones para convertirlos en los combustibles requeridos por la industria y su adecuación para facilitar su transporte. Incluye instalaciones donde al Gas Natural se le extrae las impurezas, el sulfuro de hidrógeno, el dióxido de carbono, el agua y componentes nocivos. (DS-032-200-EM).
- 2.2.1.17. Producción:** Actividad cuya finalidad es el flujo y manipuleo de Hidrocarburos. Incluye la operación de Pozos, equipos, tuberías, tratamiento y medición de Hidrocarburos y todo tipo de operaciones de recuperación primaria y mejorada, hasta el Punto de Fiscalización. (DS-032-200-EM).
- 2.2.1.18. Sistema de recolección y reinyección:** En la Explotación de Hidrocarburos, es el conjunto de tuberías, equipos e instalaciones usados por el Contratista para recolectar y transportar los Hidrocarburos producidos por el mismo hasta el Punto de Recepción o el punto de fiscalización; o para fines de reinyección a los yacimientos. (DS-081-2007-EM).

2.2.1.19. Sistema de transporte: Conjunto de bienes muebles e inmuebles, y en general todas las tuberías, obras, equipos e instalaciones requeridas para el Transporte de Hidrocarburos por Ductos. (DS-032-200-EM).

2.2.2 Área potencial de impacto

Es el área calculada mediante la siguiente fórmula planteada por “The American Society of Mechanical Engineers”, ASME, 2022:

$$r = 0.69xd\sqrt{p} \quad \text{o} \quad r = 0.00315xd\sqrt{p}$$

Donde:

d= diámetro exterior de la tubería (in. O mm)

p = Presión de operación máxima permitida en el segmento de tubería (MAOP);
(psig o kPa)

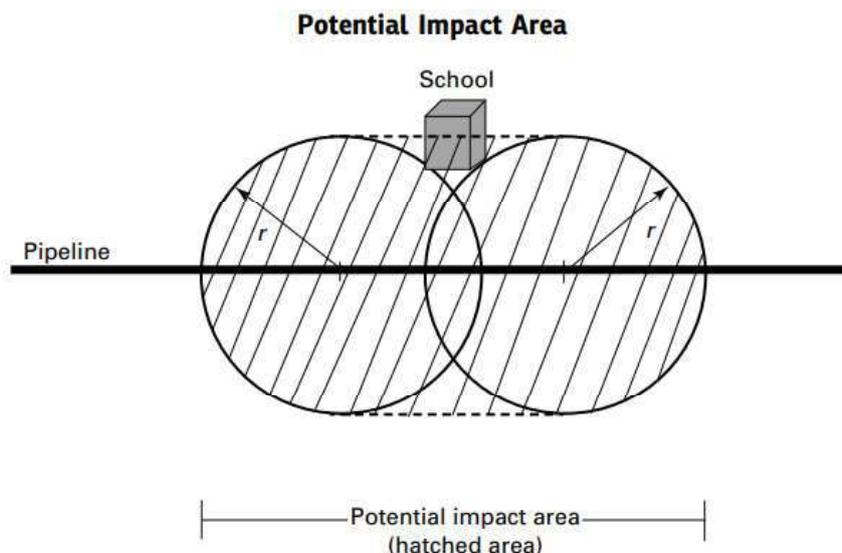
r= radio del círculo del impacto; (pie o m)

0.69 y 0.00315 son los factores para el gas natural de acuerdo a sus unidades.

Ejemplo: Un ducto con un diámetro de 30 pulgadas (762 mm) y una presión de operación máxima permitida de 1000 psig, (6900 kPa) tendrá un radio potencial de impacto de aproximadamente 660 pies (200 m), de acuerdo a:

$$\begin{aligned} r &= 0.69 \times 30 \text{ in.} \cdot \sqrt{(1000 \text{ lb/in}^2)} & \text{o} & \quad r = 0.00315 \times 762 \text{ mm} \cdot \sqrt{6900 \text{ kPa}} \\ r &= 654.6 \text{ ft} & \text{o} & \quad r = 199.4 \text{ m} \\ r &\cong 655 \text{ ft} & \text{o} & \quad r \cong 200 \text{ m} \end{aligned}$$

Figura 03: Área potencial de impacto



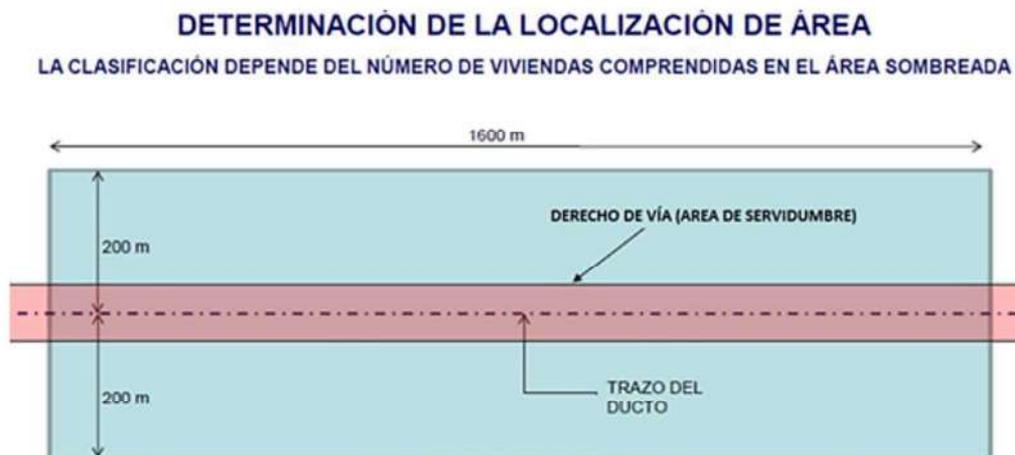
Nota: Se observa un diagrama que representa el resultado del cálculo para una tubería de 30 pulgadas (762 mm) con una MAOP de 1,000 psig (6900 kPa). Fuente: ASME, 2022.

2.2.3 Clasificación de áreas de impacto

La clasificación de estas áreas se realiza de acuerdo al número de viviendas; es utilizado para determinar las posibles consecuencias relativas de una rotura en un segmento de tubería o a lo largo de todo el sistema de transporte (ASME, 2022)

El D.S. 081-2007-EM, considera una clasificación de localización de Áreas, en el numeral 2.29 del artículo 2° del título I, para los sistemas de transporte por ductos de gas natural peruanos, considerando 200 metros a cada lado del eje de los ductos. Realizando la clasificación de acuerdo al número de edificaciones previstas para la ocupación humana.

Figura 04: Clasificación de áreas de impacto



Nota: Se observa el trazo de un ducto del cual parten 200 m a cada lado, formando así un área potencial de impacto. Y el derecho de vía correspondiente a 12.5 m en este caso. Fuente: recuperado el 01 de agosto del 2023 de: http://gasnatural.osinerg.gob.pe/contenidos/gobierno_regional/localizacion_areas_servidumbre_ultimas_Actividades.html

- a) Localización clase 1: Es un área de 1600 m por 200 m a cada lado del trazo del ducto, con 10 edificaciones previstas para la ocupación humana o menos, se consideran montañas, desiertos, pastizales, áreas de cultivo, etc.
- b) Localización clase 2: Es un área de 1600 m por 200 m a cada lado del trazo del ducto, con más de 10 edificaciones, pero menos de 46, previstas para la ocupación humana, (...), se considera áreas industriales, granjas, etc.
- c) Localización Clase 3: Es un área de 1600 m por 200 m a cada lado del trazo del ducto, con más de 46 edificaciones previstas para la ocupación humana, (...), se considera áreas de desarrollo urbano, áreas industriales, áreas residenciales, centros comerciales, etc.
- d) Localización Clase 4: Considera áreas con edificios multifamiliares de 4 o más, con tráfico vehicular denso e instalaciones subterráneas.

2.2.4 Sistemas de Transporte por Ductos de Gas Natural en el Perú

Actualmente el Perú cuenta con 06 Sistemas de Transporte por Ductos de Gas Natural operados por:

- **Transportadora de Gas del Perú S.A. (TGP)** que se ubica en las regiones de Cusco, Ayacucho, Huancavelica, Ica y Lima
- **Pluspetrol Perú Corporation S.A. (PPC)** que se ubica en las regiones de Ica y Cusco.
- **Perú LNG S.R.L. (PLNG)** que se ubica en las regiones de Ayacucho, Huancavelica e Ica.
- **Repsol Exploración Perú Sucursal del Perú (REP)** que se ubica en la región del Cusco.
- **Aguaytía Energy del Perú S.R.L. (AEP)** que se ubica en la región del Ucayali.
- **Enel Generación Piura (EGP)** que se ubica en la región de Piura.

Figura 05: Ubicación geográfica de los STD del Perú



Fuente y elaboración: Osinergmin.

De la anterior imagen podemos apreciar que los sistemas de transporte en el Perú, se extienden en costa, sierra y selva recorriendo, por lo tanto, distintas condiciones climáticas en cada una de ellas.

A continuación, vemos un corte transversal donde se aprecia el Sistema de Transporte de GN/LGN operado por TGP, donde podemos apreciar que el STD recorre distintos grados de pendientes y zonas geográficas.

Figura 06: Recorrido del STD operado por la empresa TGP

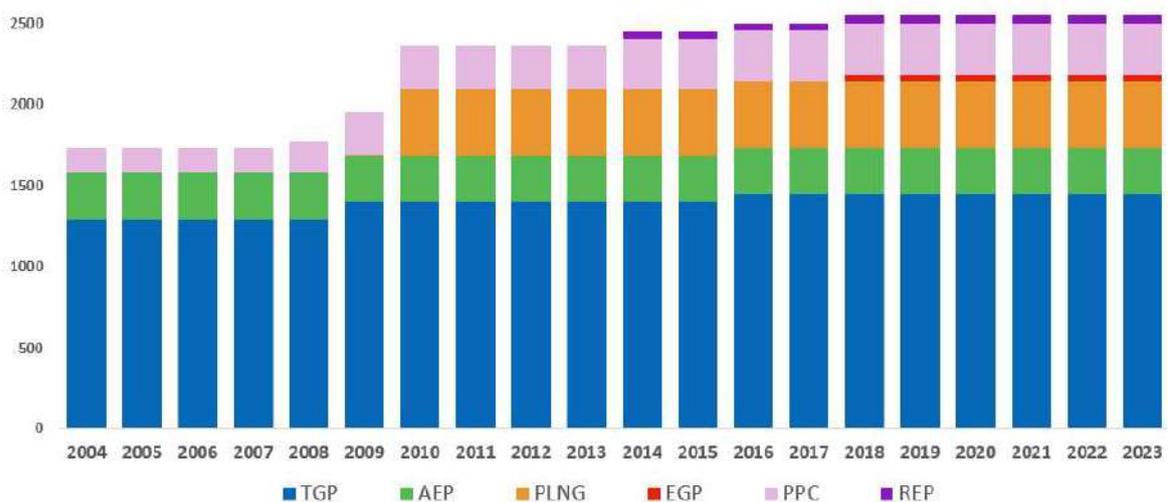


Nota: Se observa el recorrido del STD – TGP, desde el Lote 88 en Cusco hacia Lurín.

Fuente y elaboración: Osinergmin.

A partir del año 2004, con la puesta en marcha del proyecto Camisea, los Sistemas de Transporte por Ductos en el Perú incrementaron su longitud progresivamente hasta alcanzar en la actualidad aproximadamente los 2550 Km, los cuales son objeto de fiscalización de la UTDGN, tal como se aprecia en la siguiente imagen:

Figura 07: Evolución Histórica de la longitud de los STD del Perú



Fuente: UTDGN – Osinergmin

En la siguiente tabla se detalla las longitudes aproximadas de los sistemas de transporte por ductos del Perú considerando los diferentes diámetros de los ductos que los conforman.



Tabla 01: Características técnicas de los STD del Perú

		Inicio - Fin	Longitud aprox.	Diámetro	
TGP (GN)	STD GN	Gasoducto troncal	Planta de separación de Malvinas - City Gate de Lurín.	730 km	32” (209 km), 24” (310 km) y 18” (211 km).
		Loop Costa I	Pampa Melchorita – Estación Chilca	136 km	24” y 18”
		Loop Costa II	Estación Chilca – City Gate Lurín		
		Derivación Ayacucho	KP 277+026 del STD-GN - City Gate de Ayacucho	18.33 km	14”
TGP (LGN)	STD – LGN	Planta de separación de Malvinas - Planta de Fraccionamiento de Pisco	557.3 km	14” (454.5 km) y 10” (102.8 km)	
PLNG	Ducto principal	Ayacucho (Chiquintirca) - Planta de Licuefacción de Pampa Melchorita (Cañete).	408.1 km	34”	
	Ducto de uso propio	Distrito de San Vicente de Cañete (Fuera de servicio)	1.153 km	10.75”	
PPC	SRI* del Lote 88, San Martín (flowlines).	yacimiento San Martín – Planta de Separación de Malvinas	77 km		
	SRI* del Lote 88, Cashiriari (flowlines)	yacimiento Cashiriari - Planta de Separación de Malvinas	76.5 km	24” (64 km) y 20” (12.5 km)	
	SRI* del Lote 56, Pagoreni (flowlines)	Yacimiento Pagoreni - Planta de Separación de Malvinas.	42.1 km	18” (7.5 km), 20” (17.3 km) y 18” (17.3 km)	
	SRI* del Lote 56, Mipaya (flowlines).	Mipaya – Nuevo Mundo - Pagoreni	7.1 km 42.5 km		
	Ducto Principal Humay, Lobería	Humay – playa Lobería	40.4 km	8”	
	REP	SRI* del Lote 57, Kinteroni-Nuevo Mundo y Pagoreni A-Malvinas (flowlines).	Kinteroni – Nuevo Mundo	14.5 km	16”
		Pagoreni – Planta de separación de Malvinas	22.2 km	16”	
SRI* del Lote 57- Sagari BX-Sagari AX-Kinteroni (Flowlines)		Sagari BX - Sagari AX	8.3 km	8”	
		Sagari AX hasta Kinteroni	11.1 km	14”	
AEP	STD – GN	Planta de Separación Curimaná - Estación Neshuya	39.32 km	12”	
		Estación Neshuya - Central Térmica de Aguaytía	85.48 km	10”	
		Estación Neshuya - Planta de Fraccionamiento de Yarinacocha.	49.5 km	6”	
	STD – LGN	Planta de Separación de Gas de Curimaná - Estación Neshuya	39.32 km	4”	
		Estación Neshuya - Planta de Fraccionamiento de Yarinacocha	49.5 km	4”	
SRI* del Lote 31C (flowlines)	Yacimiento - la Planta de Separación Curimaná,				
EGP	STD – GN	Planta de Gas de Pariñas-Central Térmica Malacas.	16.5 km	8” (3 x 5.5 km)	
		Planta de Gas de Pariñas-Refinería de Talara	16 km	8”	

Nota: Se observa la complejidad y gran longitud aproximada en los sistemas de transporte al año 2021

(*) SRI: Sistema de Recolección e Inyección Fuente: UTDGN – Osinergmin

2.2.5 Método Multicriterio: Análisis Jerárquico

Se utiliza esta metodología de Análisis jerárquico para la ponderación de los parámetros geotécnicos, por su capacidad de integrar criterios cuantitativos y cualitativos, mediante una matriz cuadrada denotada de la siguiente manera:

$$A = A_{ij}$$

Se construye la matriz de comparación de pares entre los parámetros geotécnicos, que permite determinar el nivel de importancia para cada uno respecto al otro, este proceso se fundamenta en la metodología de “Juicio de expertos” mediante el uso de la Escala propuesta por Saaty en el año 1980, la cual se aprecia en la siguiente imagen:

Figura 08: Escala de Saaty 1980

ESCALA NUMERICA	ESCALA VERBAL	EXPLICACIÓN
9	Absolutamente o muchísimo mas importante que ...	Al comparar un elemento con otro el primero se considera absolutamente o muchísimo más importante que el segundo.
7	Mucho más importante o preferido que ...	Al comparar un elemento con otro el primero se considera absolutamente o muchísimo más importante o preferido que el segundo.
5	Mas importante o preferido que...	Al comparar un elemento con otro el primero se considera más importante o preferido que el segundo.
3	Ligeramente más importante o preferido que ...	Al comparar un elemento con otro, el primero es ligeramente más importante o preferido que el segundo.
1	Igual o diferente a ...	Al comparar un elemento con otro, hay indiferencia entre ellos.
1/3	Ligeramente menos importante o preferido que ...	Al comparar un elemento con otro, el primero se considera ligeramente menos importante o preferido que el segundo.
1/5	Menos importante o preferido que ...	Al comparar un elemento con otro, el primero se considera menos importante o preferido que el segundo.
1/7	Mucho menos importante o preferido que ...	Al comparar un elemento con otro, el primero se considera mucho menos importante o preferido que el segundo.
1/9	Absolutamente o muchísimo	Al comparar un elemento con otro el primero se considera absolutamente o muchísimo más importante que el segundo.
2, 4, 6, 8	Valores intermedios entre dos juicios adyacentes, que se emplean cuando es necesario un término medio entre dos de las intensidades anteriores.	

Fuente: Manual para la evaluación de riesgos originados por fenómenos naturales 2 versión – CENEPRED

El desarrollo de esta matriz construida se muestra a continuación:

$$A = \begin{pmatrix} 1 & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & 1 & \dots & a_{2n} \\ \dots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{n1} & a_{n2} & \dots & 1 \end{pmatrix}$$

Se suman verticalmente los valores de la matriz por columnas, obteniendo:

$$\sum_{i=1}^n a_i = v_1, v_2, \dots, v_n$$



Estos valores obtenidos de la sumatoria anterior serán utilizados para construir una matriz normalizada:

$$A_{NORMALIZADA} = \begin{pmatrix} 1/v1 & a_{n12}/v2 & \vdots & a_{1n}/vn \\ a_{21}/v1 & 1/v2 & \vdots & a_{2n}/vn \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ a_{n1}/v1 & a_{n2}/v2 & \vdots & 1/vn \end{pmatrix}$$

Con esta matriz normalizada se hace el cálculo de los pesos ponderados de cada criterio denominado “vector prioridad”, para ello se realiza el cálculo del vector columna y seguidamente el vector prioridad propiamente dicha, el cual nos servirá para determinar la importancia de cada parámetro geotécnico en la fiscalización:

$$P = \begin{pmatrix} \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n a_{1j} \\ \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n a_{2j} \\ \dots \\ \dots \\ \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n a_{nj} \end{pmatrix} \text{ Obteniedose } \longrightarrow P = \begin{pmatrix} P_{c11} \\ P_{c12} \\ \dots \\ \dots \\ P_{c1n} \end{pmatrix}$$

Como parte de la aceptación de este vector prioridad es que, la suma de sus valores debe ser igual a la unidad:

$$\sum_{i=j}^n P_{c1i} = P_{c11} + P_{c12} + \dots + P_{c1n} = 1$$

2.2.6 Índice de consistencia (RC)

Se realiza este cálculo con el fin de comprobar la existencia de inconsistencias entre los juicios de expertos realizado al momento de la construcción de matriz de comparación de pares, este cálculo se realiza de la siguiente manera:

Se realiza la multiplicación entre las matrices de comparación de pares y matriz de prioridad calculada anteriormente, de la matriz resultante se realiza una suma de cada fila obteniéndose así una matriz de una sola fila denominada “Vector suma ponderada” (VSP)

$$\begin{pmatrix} 1 & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & 1 & \dots & a_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{n1} & a_{n2} & \dots & 1 \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} P_{c11} \\ P_{c12} \\ \dots \\ \dots \\ P_{c1n} \end{pmatrix} \Rightarrow \begin{pmatrix} VSP_{11} \\ VSP_{12} \\ \dots \\ \dots \\ VSP_{1n} \end{pmatrix}$$



Seguidamente se dividen los valores del vector suma ponderada entre su correspondiente valor de prioridad para cada criterio o parámetro geotécnico considerado:

$$VSP_{11} / P_{c11} = \lambda_1$$

$$VSP_{12} / P_{c12} = \lambda_2$$

.....

$$VSP_{1n} / P_{c1n} = \lambda_n$$

De estos valores de lambda obtenidos, se determina la lambda máxima λ_{max}

$$\lambda_{max} = (\lambda_1 + \lambda_2 + \dots + \lambda_n) / n$$

Una vez calculada la lambda máxima aplicamos la siguiente ecuación para el cálculo del índice de consistencia (IC):

$$IC = (\lambda_{max} - n) / (n - 1)$$

2.2.7 Relación de consistencia (RC)

Del anterior resultado, podremos determinar la relación de consistencia (RC):

$$RC = IC / IA$$

Donde IA es el valor de índice aleatorio. Los valores del Índice Aleatorio para los diferentes “n”, obtenidos mediante la simulación de 100,000 matrices (Aguarón y Moreno-Jiménez, 2001), estos valores son:

Tabla 02: Valores del Índice Aleatorio para los diferentes “n”

n	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
IA	0.525	0.882	1.115	1.252	1.341	1.404	1.452	1.484	1.513	1.535	1.555

Fuente: Aguarón y Moreno-Jiménez, 2001

NOTA: Aguarón y Moreno-Jiménez, 2001, indican que para matrices de 3 parámetros la RC debe ser menor a 0.04, para matrices de cuatro parámetros la RC debe ser menor a 0.08 y para matrices mayores a cuatro deben ser menores a 0.10.



CAPITULO III: HIPÓTESIS Y VARIABLES

3.1. Formulación de hipótesis

3.1.1. Hipótesis general

- Los resultados de la aplicación de la metodología de fiscalización geotécnica basada en riesgos y tecnología de inmersión en los sistemas de transporte por ductos de gas natural del Perú tendrán un impacto positivo en la gestión de las actividades de fiscalización mejorando su eficiencia y eficacia.

3.1.2. Hipótesis específica

- Los parámetros geotécnicos que se aplicarán en la metodología de fiscalización geotécnica basada en riesgos deberán ser amplios y contemplar aquellas actividades que tienen relación directa entre la fiscalización y geotecnia.
- Mediante el análisis multicriterio de los parámetros geotécnicos utilizados en la metodología de fiscalización geotécnica basada en riesgos se determinará la priorización de los tramos del sistema de transporte por ductos de gas natural.
- Se identificarán parámetros en los que se intervienen con el uso de la tecnología de inmersión en la fiscalización geotécnica, los cuales serán positivos.
- Los indicadores establecidos demostrarán los resultados positivos de la aplicación de la metodología de fiscalización geotécnica basada en riesgos y tecnología de inmersión en los sistemas de transporte por ductos de gas natural en el Perú.

3.2. Identificación de variables e indicadores

3.2.1. Variables

- Metodología de fiscalización geotécnica basada en riesgos
- Tecnología de inmersión.
- Sistemas de transporte por ductos de gas natural del Perú.



3.3. Operación de variables

En la siguiente tabla se presenta la operación de variables consideradas para esta investigación:

Tabla 03: Cuadro de operacionalización de variables

Título: “APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA DE FISCALIZACIÓN GEOTÉCNICA BASADA EN RIESGOS Y TECNOLOGÍA DE INMERSIÓN EN LOS SISTEMAS DE TRANSPORTE POR DUCTOS DE GAS NATURAL DEL PERÚ – 2022”		
Cuadro de operacionalización de variable		
Variables	Indicador	
Dimensión	Técnica	
Instrumentos		
<p>Metodología de fiscalización basada en riesgos.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Zona geográfica (Clima) • Fuerzas Externas existentes (Movimientos en masa) • Ruta del DDV en función de la Pendiente • Estudios Geológicos/ Geotécnicos • Monitoreo Geotécnico 	<ul style="list-style-type: none"> • Chala, Yunga marítima, Puna o Jalca, Janca o Cordillera, Quechua, Suni, Yunga Fluvial, Selva alta o Rupa-Rupa y Selva baja u Omagua • Existencia de movimientos en masa, existencia de fallas geológicas, existencia de posible afectación a la integridad del ducto y existencia de obras de mitigación • Terreno del DDV con los siguientes rangos de pendientes: [0 – 5>, [5 – 15>, [15 - 22>, [22 – 32> y ≥32 • Existencia de estudios geológicos/geotécnicos, necesidad / ejecución ensayos geológicos y existencia de ingeniería de detalle (diseño) • Frecuencia en el Monitoreo Geotécnico (a tiempo real, días, semanas, meses) 	<ul style="list-style-type: none"> • Guia General de Fiscalización para las Actividades de la División de Supervisión de Gas Natural – 2023 • Instructivo “Supervisión Geotécnica de la Estabilidad del Derecho de Vía y Cruces de Cursos de Agua en actividades de transporte de Gas Natural” • Instructivo: DSGN-TDGN-OP-112-rev-00-Geoprosamiento-pendientes • Instructivo: DSGN-TDGN-OP-113-rev-00-Clima-Lluvia • Base de datos Osinergmin
<p>Tecnología de inmersión.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Experiencia del usuario • Impacto en la interpretación geotécnica • Efectividad en el desempeño 	<ul style="list-style-type: none"> • Análisis asistido por computador (software) • RPAS • Lentes FPV First Person View 	<ul style="list-style-type: none"> • Instructivo: DSGN-TDGN-OP-112-rev-00-Geoprosamiento-pendientes • Instructivo: DSGN-TDGN-OP-113-rev-00-Clima-Lluvia • Base de datos Osinergmin
<p>Sistemas de transporte por ductos de gas natural del Perú</p> <ul style="list-style-type: none"> • Zonas de interés geotécnico • Eficiencia operacional 	<ul style="list-style-type: none"> • Zonas de acuerdo a su nivel de prioridad geotécnica - área efectiva de fiscalización y de mantenimiento • Frecuencia de fallas (historial) • Costos de fiscalización 	<ul style="list-style-type: none"> • Análisis asistido por computador (software) • Mapas temáticos (Visor GIS)

j



CAPITULO IV: METODOLOGÍA

Fundamentalmente para el desarrollo de la presente tesis se realizó la verificación y adquisición de datos en campo, así como también el análisis y procesamiento de la información en gabinete con el fin de aplicar la metodología de fiscalización geotécnica basada en riesgos y tecnología de inmersión en los Sistemas de Transporte por Ductos de Gas Natural del Perú, agrupándose estas actividades de la siguiente manera:

Pre campo: Etapa en la cual se realizó la recopilación de información histórica (antecedentes) respecto a la geotecnia de los sistemas de transporte por ductos, por ejemplo, roturas de ductos, cárcavas reconformadas y otros indicadores geotécnicos, así como también se planificó las visitas en campo de acuerdo a información de la ubicación de riesgos remitido por las empresas operadoras, asimismo, se obtuvo los permisos correspondientes para el ingreso al DDV.

Campo: Esta etapa incluye la obtención de datos *in situ*, mediante la identificación de geoamenazas, verificación de obras de geotecnia existentes, recopilación de información sobre los periodos de monitoreo, asimismo se hizo levantamientos aerofotogramétricos y el uso de la tecnología de inmersión, con el fin de obtener datos verídicos de campo.

Post campo: Etapa donde se realizó el análisis de los datos obtenidos en campo, determinando los parámetros geotécnicos a utilizar y sus correspondientes descriptores, así como también, se realizó el análisis multicriterio mediante la comparación de pares con el fin de calcular la prioridad de los diferentes componentes (tramos) y se validó los cálculos realizados mediante la obtención de su relación de consistencia.

4.1. Aspectos metodológicos

- 4.1.1. El **tipo de investigación** de la presente tesis es la **aplicada**, debido a que se utilizarán y aplicarán conocimientos geológicos/geotécnicos en la planificación de acciones de fiscalización de sistemas de transportes por ductos. (Bernal, 2022).
- 4.1.2. El **diseño de investigación** de la presente tesis es **no experimental** por que se describen las características geotécnicas tal como ocurren y sin manipulación de variables. (Hernández et al, 2022).
- 4.1.3. El **nivel de investigación** de la presente tesis es **Descriptivo**, debido a que se realiza el reconocimiento y descripción de las distintas situaciones identificadas en los sistemas de transporte por ductos en relación a la causa y efecto. (Tamayo y Tamayo, M. 2004).
- 4.1.4. El **enfoque de investigación** es **mixto** por que se toman datos cuantitativos y cualitativos para tener una visión más amplia. (Creswell, 2015).



4.2. Población de estudio

La población considerada para esta investigación son los sistemas de transporte por ductos ya sean de gas natural (gasoductos), minerales (mineroductos) o hidrocarburos líquidos (poliductos).

4.3. Muestra

La muestra son los sistemas de transporte por ductos de gas natural¹ a los cuales se aplicará la metodología de fiscalización basada en riesgos y la tecnología de inmersión para su correcta fiscalización geotécnica.

4.4. Unidad de análisis

Será el área de impacto de cada uno de los sistemas de transporte por ductos de gas natural del Perú que actualmente se encuentran en operación.

4.5. Técnicas de selección de muestra

La técnica utilizada de muestreo en esta tesis es **no probabilística**, debido a que no se utiliza formulas estadísticas para la selección de muestras

4.6. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

A continuación, se describe las técnicas e instrumentos utilizados:

4.6.1. Técnicas

Se utilizaron las siguientes técnicas para la recolección de datos

- Inspecciones *in situ* del estado geológico/geotécnico del DDV de los sistemas de transporte por ductos de gas natural, reconociendo movimientos en masa, procesos de erosión, fallas u otros.
- Revisión y análisis de la información geotécnica, remitida por las empresas fiscalizadas que cuenten con sistemas de transporte por ductos en operación.
- Verificación de la implementación y mantenimiento de obras de estabilización y control de erosión.
- Análisis de imágenes satelitales.
- Levantamientos aerofotogramétricos.
- Vuelos con tecnología de inmersión para el recorrido de áreas de difícil acceso.

¹ Los sistemas de transporte por ductos de gas natural incluyen los gasoductos que transportan gas natural seco y poliductos que transportan líquidos de gas natural.



4.6.2. Instrumentos

Se consideran instrumentos metodológicos y de ingeniería

Tabla 04: Instrumentos de investigación

Instrumentos metodológicos	Instrumentos de ingeniería
<ul style="list-style-type: none">• Guía General de Fiscalización para las Actividades de la División de Supervisión de Gas Natural – 2023• Instructivo “Supervisión Geotécnica de la Estabilidad del Derecho de Vía y Cruces de Cursos de Agua en actividades de transporte de Gas Natural”• Instructivo: DSGN-TDGN-OP-I12-rev-00-Geoprocesamiento-pendientes• Instructivo: DSGN-TDGN-OP-I13-rev-00-Clima-Lluvia• ASME B31.8 “Gas Transmission and Distribution Piping Systems”• ASME B31.8S “Managing System Integrity of Gas Pipelines”• ASME B31.4 “Pipeline Transportation Systems for Liquids and Slurries”• Base de datos Osinergmin	<ul style="list-style-type: none">• Software de ingeniería ArcGIS Pro y/o Arc Map 10.5 ArcGIS Suervey123 Microsoft Excel 2016• Vehículos aéreos no tripulados (RPAS)• Lentes de inmersión• Radiodetection RD8100• Strain Gauges• Inclinómetros• Sensores de nivel freático• GPS

Cabe precisar que, el instrumento legal y fundamento de las acciones de fiscalización se encuentra enmarcado en el Decreto Supremo RD-081-2007-EM.

4.7. Recolección de datos

Los datos necesarios para realizar el análisis en esta metodología se obtienen mediante tres fuentes fundamentales:

- a) Información obtenida por las empresas fiscalizadas.
- b) Información obtenida mediante verificación *in situ*
- c) Información obtenida mediante levantamientos aerofotogramétricos o satelitales
- d) Información obtenida mediante vuelos especiales con tecnología de inmersión

4.7.1. Información remitida por las empresas fiscalizadas

La información principal recibida por parte de la empresa fiscalizada es:

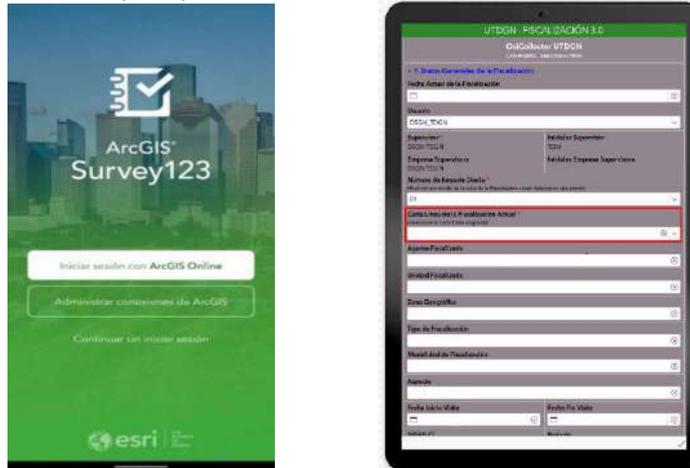
- Registro de riesgos identificados en el DDV y fuera del DDV de los sistemas de transporte por ductos. Estos riesgos se deben encontrar georreferenciados y debidamente caracterizados por nivel.
- Registro de las acciones realizadas en los riesgos reportados, existencia o no de obras de control de erosión u obras de contención.
- Reporte de su programa de patrullaje y monitoreo en todo el sistema de transporte por ductos.
- Reporte de instrumentación geotécnica (Strain Gauges, inclinómetros, piezómetros, fibra óptica) las cuales deben encontrarse georreferenciadas

4.7.2. Información obtenida mediante verificación *in situ*

El proceso de recolección mediante verificación *in situ* se realiza con el apoyo de un aplicativo móvil con un funcionamiento off-line para su correcto funcionamiento en lugares que no se cuente con conexión a internet, descrito a continuación:

- Recolección de datos mediante aplicativo ArcGIS Survey123 en el cual se recolecta evidencias fotográficas e información mediante encuestas.

Figura 09: Aplicativo ArcGIS Survey123 y encuesta UTDGN



Fuente: Base de datos Osinergmin – Guía-Utilización-Applicativo-Supervisión-TDGN_v4

Mediante este aplicativo, se generarán reportes diarios para la elaboración de informes de fiscalización, donde se resumirá la siguiente información:

Figura 10: Ejemplo de formato de reporte diario

<Foto>					
RD-<NN>-Foto-<nn>:		<p>< Comentarios mínimos:</p> <p>a) Descripción de las condiciones de:</p> <ul style="list-style-type: none"> • DDV. • Obras de geotecnia y/o control de erosión. • Sistemas de medición. <p>b) Existencia de un plan de monitoreo y/o mitigación.</p> <p>c) Cumplimiento del plan de monitoreo.</p> <p>d) otros</p> <p>></p>			
Tema:		Supervisión Geotécnica de la Estabilidad del Derecho de Vía y de los Cruces de Cursos de Agua en actividades de transporte de Gas Natural			
Huso:		Este:		Norte:	
KP:		¿Existe Riesgo Geotécnico?	SI / NO / Por Evidenciar	¿Riesgo Geotécnico reportado a Osinergmin?	Si/No/No Aplica

Fuente: “DSGN-TDGN-OP-101-v0-Geotecnia-DDV-Cursos-Agua”

- Recolección de datos mediante Listas de Verificación en campo, donde se registran los eventos geológicos geotécnicos identificados en el DDV, o fuera del DDV que puedan afectar la integridad de los ductos, así como también las acciones realizadas por la empresa.

Figura 11: Ejemplo de lista de verificación en campo – Geotecnia

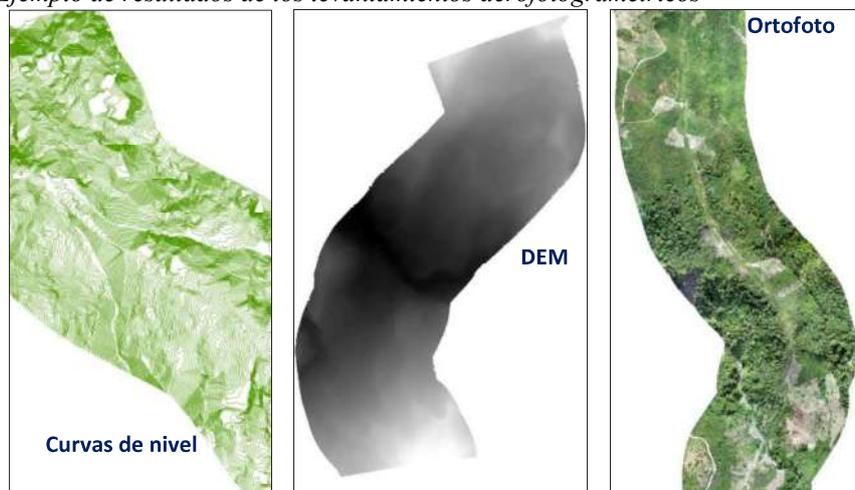
Lista de Verificación							
Supervisión Geotécnica de la Estabilidad del Derecho de Vía y de los Cruces de Cursos de Agua en actividades de transporte de Gas Natural							
Consideración	Verificación	Existe			Medidas (metros) / Comentarios		
		SI	NO	NA	Longitud	Apertura/Ancho	Profundidad/Altura
Dentro del DDV	Grietas de tracción	X			15	0.05	0.60
	Escarpe principal y/o asentamiento	X			10		1.2
	Movimiento de Masa / deslizamiento	X			25	18	
	Erosión (mayor a 1pie ²)	X					
	Ducto expuesto o afectado	X					
	Afloramiento de agua	X			< comentario, de ser necesario >		
Fuera del DDV	Deslizamiento que afecta al DDV	X				10	
	Arboles Inclinados		X		< comentario, de ser necesario >		
	Flujo de Cursos de Agua paralelo al DDV a menos de 5m del borde.	X			< comentario, de ser necesario >		
Cruce de Cursos de Agua	Altura de tapada sobre el ducto	X					0.90
	Erosión de fondo			X			
	Avulsión			X			
	Erosión de ribera			X			
Acciones de la empresa	Obras de geotecnia y/o control de erosión	X			< comentario, de ser necesario >		
	Registro de monitoreo	X			< comentario, de ser necesario >		
	Plan de mantenimiento y/o reparación			X	< comentario, de ser necesario >		
	Plan de monitoreo geotécnico			X	< comentario, de ser necesario >		
	Estudios geotécnicos u otros	X			< comentario, de ser necesario >		

Fuente: “DSGN-TDGN-OP-I01-v0-Geotecnia-DDV-Cursos-Agua”

4.7.3. Información obtenida mediante levantamientos aerofotogramétricos

Los levantamientos aerofotogramétricos mediante el uso de aeronaves pilotadas remotamente RPAS (Remotely Piloted Aircraft Systems) se realizan a lo largo de toda el área potencial de impacto descrita en el numeral 2.2.2, con el fin de obtener modelos digitales de elevación (DEM), Curvas de nivel cada 1 m, Ortofotografías, nubes de puntos, planimetría, altimetría y modelos en 3D.

Figura 12: Ejemplo de resultados de los levantamientos aerofotogramétricos



Fuente: Base de datos – OSINERGMIN



4.7.4. Información obtenida mediante imágenes satelitales

Teniendo en cuenta que la geología se encuentra en un constante cambio, también se cuenta con datos de imágenes satelitales, con el fin de mantener un constante monitoreo de los cambios en la geotecnia/geología de zonas de interés, mejorando así la interpretación geológica/geotécnica.

4.7.5. Información obtenida mediante vuelos especiales

Los vuelos especiales son llevados a cabo mediante el empleo de vehículos aéreos no tripulados (RPAS), vinculados a distancia con lentes de visión equipados con tecnologías de inmersión, los cuales serán detallados en el capítulo VIII de la presente tesis.

La aplicación de esta avanzada tecnología permite al fiscalizador tener el control total sobre el piloto del RPAS, otorgándole la capacidad de avanzar, girar o acercarse en cualquier momento y lugar de interés, permitiendo la captura de evidencias fotográficas o videos en altas resoluciones observadas en tiempo real, sin verse afectado por distracciones del entorno circundante como la intensidad de la luz solar u otros, además, permite un procesamiento eficiente de estas imágenes obtenidas en etapas posteriores.



CAPITULO V: GEOLOGÍA DE DUCTOS

Los sistemas de transporte por ductos de gas natural en el Perú recorren una gran cantidad de formaciones geológicas debido a su gran longitud, las cuales, cuentan con distintas características geotécnicas que influyen con la integridad de los ductos:

- Resistencia a la erosión: cada formación geológica, de acuerdo a su litología tendrá una resistencia distinta a los agentes erosivos, los cuales pueden generar la exposición de los Ductos significando un riesgo crítico para su integridad.
- Capacidad de carga: Los ductos de transporte por lo general son de hierro por lo cual pueden ejercer una sobrepresión significativa a las distintas formaciones geológicas provocando hundimientos u otros cambios a su estructura.

Tabla 05: Ejemplos de capacidad de carga promedio

Tipo de roca	roca	Capacidad portante (kg/cm ²)
Rocas sedimentarias	Lutita	3 – 10
	Arenisca	10 – 40
	Conglomerado	15 – 50
Rocas ígneas	Granito	100 – 300
	Basalto	150 – 200
	Diorita	80 – 200
Rocas metamórficas	Gneis	50 – 200
	Pizarra	20 – 60
	Mármol	60 – 150
Suelos	Conglomerados	0.5 – 5
	Arenas	0.2 – 4
	arcillas	2.5 – 10

Fuentes: Bowles, J. E. (1996), Das, B. M. (2011) y Eurocódigo 7

- Riesgos geológicos: La presencia de algunas formaciones geológicas pueden aumentar los riesgos, que al relacionarse con lluvias fuertes u otras condiciones climáticas puedan desestabilizarse con mayor facilidad que otras.

En la siguiente tabla, se detallan los problemas geotécnicos más comunes a los que esta propenso el DDV y terreno circundante en relación a la litología de las formaciones geológicas:

Tabla 06: Problemas geotécnicos relacionados a las formaciones geológicas

Litología	Factores característicos	Problemas geotécnicos
Rocas duras	— Minerales duros y abrasivos.	— Abrasividad (Fotografía A). — Dificultad de arranque.
Rocas blandas	— Resistencia media a baja. — Minerales alterables.	— Roturas en taludes (Fotografía B). — Deformabilidad en túneles. — Cambio de propiedades con el tiempo.
Suelos duros	— Resistencia media a alta.	— Problemas en cimentaciones con arcillas expansivas y estructuras colapsables.
Suelos blandos	— Resistencia baja a muy baja.	— Asientos en cimentaciones (Fotografía C). — Roturas en taludes.
Suelos orgánicos y biogénicos	— Alta compresibilidad. — Estructuras metaestables.	— Subsistencia (Fotografía D) y colapsos.

Fuente: Luis I. González de Vallejo, Mercedes Ferrer, Luis Ortuño, Carlos Oteo (2004). Ingeniería Geológica



Tomando en cuenta los problemas geotécnicos identificados, el operador diseñará y seleccionará distintas obras geotécnicas para la protección de la integridad de los ductos, a continuación, se describen de forma breve cada una de las formaciones geológicas, sobre las cuales recorren los sistemas de transporte por ductos de gas natural del Perú:

5.1 Geología de AEP

La empresa Aguaytía Energy del Perú S.R.L. opera su sistema de transporte por ductos en una zona geográfica selvática donde predominan rocas y depósitos sedimentarios, recorriendo sobre las siguientes formaciones geológicas:

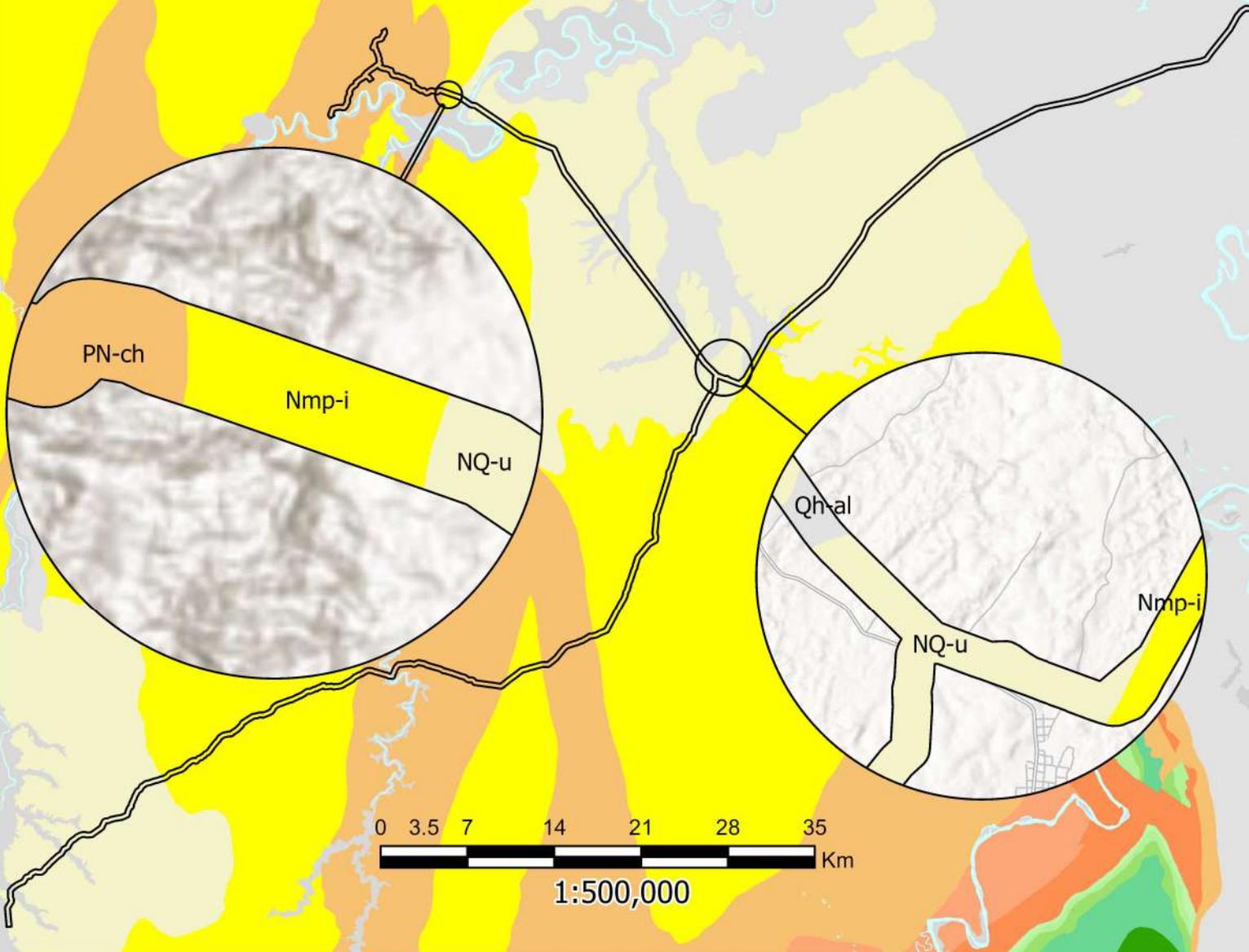
- **Formación Ucayali (NQ-u):** Lodolitas, arcillas, arenas gruesas y limos intercalados con capas de conglomerados.
- **Formación Ipururo (Nmp-i):** Areniscas limosas, gris a rojo anaranjadas, arcillas calcáreas rojizas, moteadas, intercaladas con limolitas gris amarillentas a beige.
- **Formación Chambira (PN-ch):** Areniscas grises y marrones, de grano medio a grueso, en estratos gruesos a medianos con contenidos de materia orgánica. Intercalaciones de limoarcillitas marrones a pardas y arcillas.
- **Depósito fluvial (Q-fl):** Gravas y arenas en matriz limoarenosa.
- **Depósito aluvial (Qh-al):** Gravas y arenas mal seleccionados en matriz limoarenosa.

5.2 Geología de EGP

La empresa Enel Generación Piura S.A. opera su sistema de transporte por ductos en una zona geográfica costera, por lo cual recorre las siguientes formaciones geológicas:

- **Grupo salinas (Pe-s):** Areniscas de grano fino de color verde a marrón grisáceo, intercaladas con areniscas de grano grueso y conglomerados.
- **Formación talara (Pe-t):** Conglomerados, lutitas negras bituminosas, areniscas de grano fino y lutitas gris verdosas y niveles de areniscas calcáreas.
- **Formación Verdún (Pe-v):** Intercalación de areniscas de grano medio a grueso diagenizado.
- **Depósito marino (Q-ma):** Cantos rodados y gravas con matriz de arenas, formando terrazas paralelo a la línea de costa.
- **Depósito aluvial (Qh-al):** Cantos, gravas y arenas subredondeadas con matriz limoarenosas, se encuentran formando terrazas.
- **Formación tablazo lobitos (Qp-tl):** Conglomerados heterogéneos y areniscas poco compactas con fragmentos redondeados y subangulosos.
- **Formación tablazo talara (Qp-tt):** Secuencia conglomerádica poco consolidada, con clastos subanguloso

MAPA GEOLÓGICO DE AGUAYTÍA ENERGY DEL PERÚ S.R.L.



LEYENDA

AGUAYTÍA ENERGY DEL PERÚ S.R.L.

Geología

- NQ-u
- Nmp-i
- PN-ch
- Q-fl
- Qh-al

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO
ABAD DEL CUSCO

TESIS:

"APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA DE FISCALIZACIÓN
GEOTÉCNICA BASADA EN RIESGOS

Y

TECNOLOGÍA DE INMERSIÓN
EN LOS SISTEMAS DE TRANSPORTE POR
DUCTOS DE GAS NATURAL DEL PERÚ – 2023"

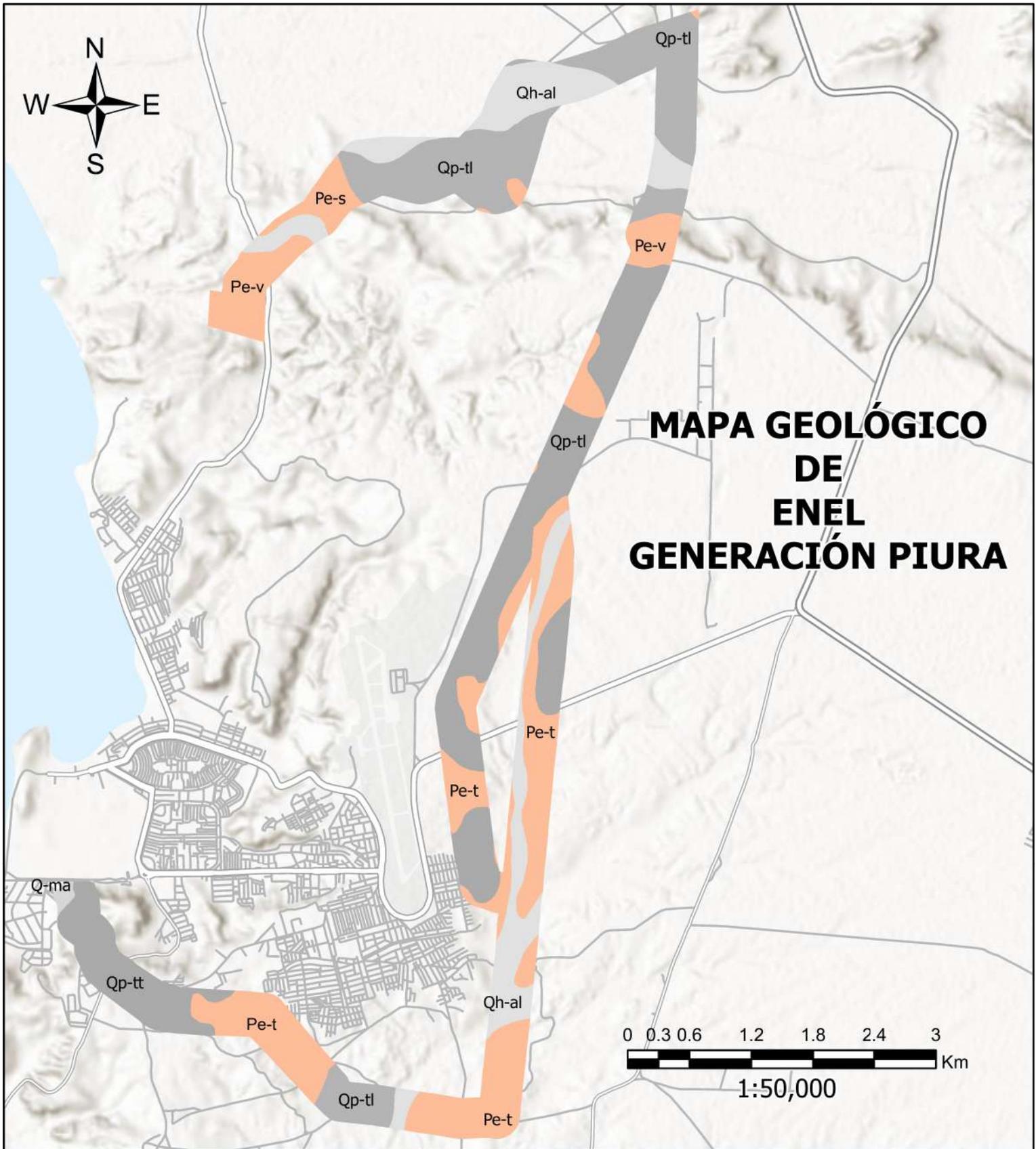


Elaborado por:

Bach. Win Kevin Lucana Alvarez

Asesor:

Dr. Ronald Luis Lopez Zapana



LEYENDA

GEOLOGÍA

-  Pe-s
-  Pe-t
-  Pe-v

-  Q-ma
-  Qh-al
-  Qp-tl
-  Qp-tt

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO
 ABAD DEL CUSCO

TESIS:
 "APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA DE FISCALIZACIÓN
 GEOTÉCNICA BASADA EN RIESGOS
 Y
 TECNOLOGÍA DE INMERSIÓN
 EN LOS SISTEMAS DE TRANSPORTE POR
 DUCTOS DE GAS NATURAL DEL PERÚ - 2023"



Elaborado por:

Bach. Win Kevin Lucana Alvarez

Asesor:

Dr. Ronald Luis Lopez Zapana



5.3 Geología de PLNG

La empresa PERÚ LNG S.R.L. opera un sistema de transporte de longitud extensa recorriendo la zona geográfica costa, sierra y parte de selva, recorriendo formaciones geológicas sedimentarias, ígneas, metamórficas y volcánicas, las cuales se describen a continuación:

- **Grupo Tarma, Copacabana (CpPEc-t,c):** Limolitas gris oscuras masivas intercaladas con areniscas grisáceas de grano medio en capas gruesas y arenisca calcáreas. (hoja 26o y 27o)
- **Formación Chúlec (Ki-chu):** Calizas arenosas, areniscas calcáreas en capas medianas, coloraciones parduzcas a beige. (hoja 28i y 28m).
- **Formación Copara (Ki-co):** Tobas líticas y tobas vítricas cristalinas, brechas volcánicas masivas, tobas y areniscas volcánicas. (hoja 28i y 28m)
- **Formación Pariatambo (Ki-pt):** Lutitas grises a negras, calizas bituminosas nodulares (hoja 28m)
- **Formación Quilmaná (Kis-qui):** Tobas vítreas y derrames andesíticos masivos, lavas almohadilladas y amigdaloides, areniscas volcánicas. (hoja 28k y 28l)
- **Batolito de la Costa - Super Unidad Incahuasi (Ks-bc/i-di):** Diorita (hoja 28m)
- **Batolito de la Costa - Super Unidad Incahuasi (Ks-bc/i-gd):** Granodiorita (hoja 28m)
- **Batolito de la Costa - Super Unidad Incahuasi (Ks-bc/i-mgr):** monzogranito (hoja 28m)
- **Batolito de la Costa - Super Unidad Incahuasi (Ks-bc/i-tn):** tonalita (hoja 28m)
- **Batolito de la Costa - Super Unidad Linga (Ks-bc/l-gb,mgb):** gabro, monzogabro (hoja 28l)
- **Batolito de la Costa - Super Unidad Linga (Ks-bc/l-mdi):** monzodiorita (hoja 28l)
- **Batolito de la Costa - Super Unidad Linga (Ks-bc/l-mgr):** monzogranito (hoja 28l)
- **Batolito de la Costa - Super Unidad Pampahuasi (Ks-bc/pa-di):** diorita (hoja 28l)
- **Batolito de la Costa - Super Unidad Pampahuasi (Ks-bc/pa-tn):** tonalita (hoja 28l)
- **Batolito de la Costa - Super Unidad Patap (Ks-bc/pt-gb):** gabro (hoja 28l)
- **Batolito de la Costa - Super Unidad Tiabaya (Ks-bc/t-gd):** granodiorita (hoja 28m y 28l)
- **Batolito de la Costa - Super Unidad Tiabaya - (Ks-bc/t-tn):** tonalita (hoja 28l)
- **Formación Casapalca (KsP-c):** Areniscas, lutitas, limoarcillitas, conglomerados calcáreos de coloraciones rojizas a marrones. Flujo andesítico basal subordinado. (hoja 27n)
- **Granodiorita (KsP-gd):** Granodiorita (hoja 27n)
- **Formación Astobamba - Chuchullo (N-a/ch-andp):** Andesita porfirítica (hoja 27m y 27n)

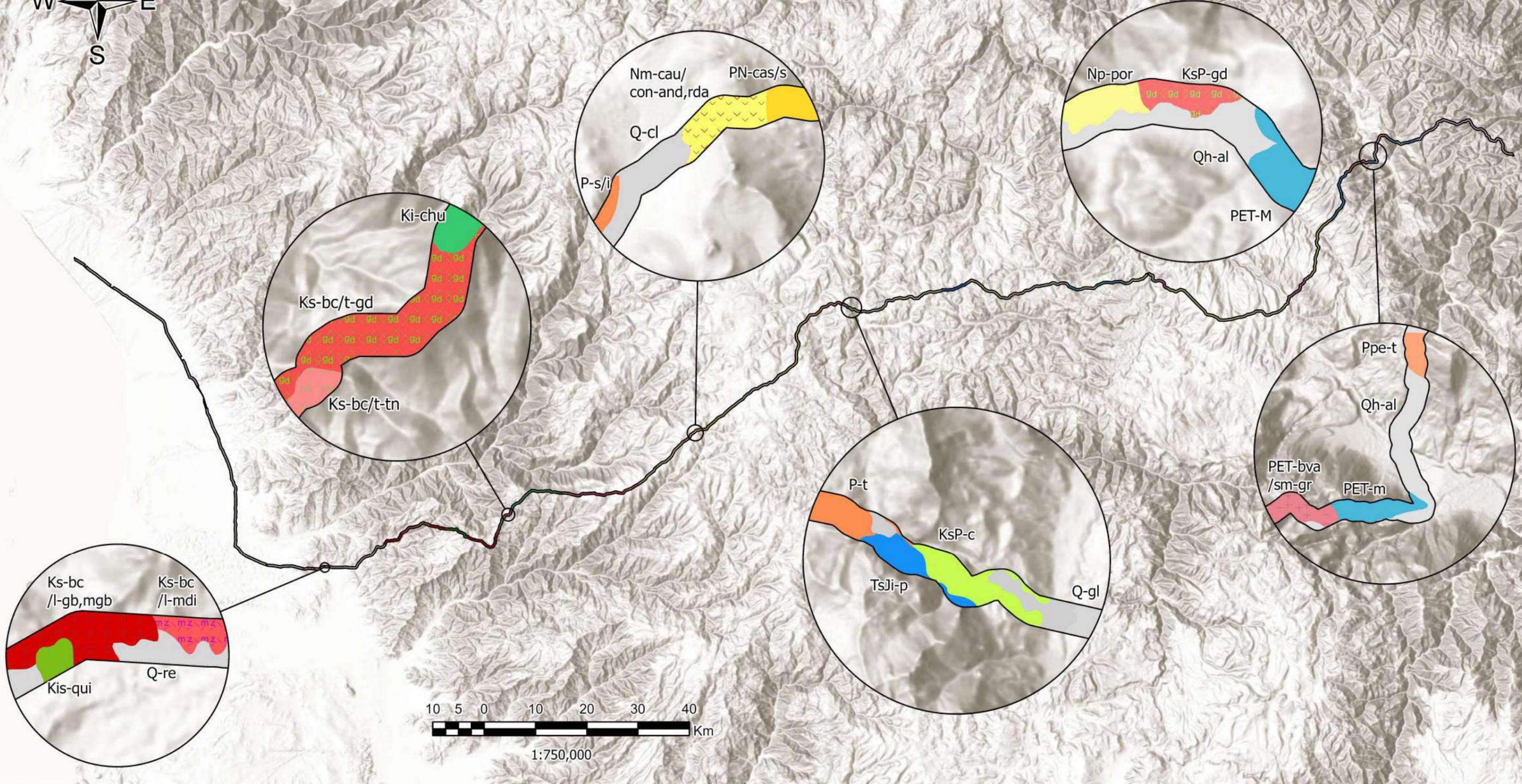


- **Formación Astobamba - Chuchullo (N-a/ch-tbsvi):** Toba soldada vitrocrystalina (hoja 27m y 27n)
- **Andesita (N-anda):** Andesita afanítica (hoja 28m)
- **Formación Apacheta - Miembro inferior (Nm-ap/i):** Flujos piroclásticos, volcanoclasticos, volcanosedimentarios, andesitas (hoja 27n)
- **Formación Apacheta - Miembro superior (Nm-ap/s):** Andesita, tobas (hoja 27n)
- **Formación Auquivilca (Nm-au):** Brechas tobáceas cubiertas por areniscas y limolitas, calizas, tobas y andesitas (hoja 27n)
- **Formación Ayacucho - Miembro inferior (Nm-ay/i):** Ignimbritas, toba lítica (hoja 27ñ)
- **Formación Ayacucho - Miembro superior (Nm-ay/s):** Tobas, limolitas, areniscas, diatomitas y conglomerados (hoja 27ñ)
- **Formación Caudalosa - Condorillo (Nm-cau/con):** Tobas, bloques, lavas andesíticas, dacitas, riolitas (hoja 28m)
- **Formación Caudalosa - Condorillo (Nm-cau/con-and,rda):** andesita afanítica, riodacita (hoja 28m)
- **Formación Chahuarma (Nm-cha):** Tobas, andesitas basálticas (hoja 27n)
- **Formación Chaupi Orcco (Nm-cho-and):** Andesitas afaníticas y porfíricas (hoja 27ñ)
- **Formación Chaupi Orcco (Nm-cho-ri):** Riolita (hoja 27ñ)
- **Formación Choccehuacgra (Nm-chocc-and):** Andesita (hoja 27ñ)
- **Formación Sallalli (Nm-sall):** Tobas cristaloclasticas de composición riolítica (hoja 27ñ)
- **Formación Huari (Np-huar):** Flujos de lavas grises (hoja 27ñ)
- **Formación Portuguesa (Np-por):** Tobas blancas con matriz de ceniza, líticos y pómez (hoja 27n y 27ñ)
- **Formación Portuguesa - Miembro inferior (Np-por/i):** Toba de brechas, tobas de lapilli y al techo brechas y lavas (hoja 27n)
- **Formación Portuguesa - Miembro medio (Np-por/m):** Andesitas porfíricas, tobas y andesitas basálticas (hoja 27n)
- **Formación Sacsaquero (P-s):** Andesita porfírica gris, tobas de cristales rosácea a parduzca y areniscas subordinadas. (hoja 27n)
- **Formación Sacsaquero - Miembro inferior (P-s/i):** Estratos de bloques clastos polimícticos subangulosos. (hoja 28m)
- **Formación Tantaré (P-t):** Andesita basálticas, conglomerados, clastos de volcánicos y areniscas gruesas. (hoja 27n)
- **Complejo Querobamba (PE-cqu-gr):** granito (hoja 27ñ)
- **Batolito Villa Azul - San Miguel (PET-bva/sm-gr):** granito (hoja 27o)



- **Grupo Mitu (PET-m):** Areniscas conglomerados, brechas, lavas y tobas de cenizas (hoja 27n, 27ñ y 27o)
- **Andesita (PET-ya-and):** Andesita (hoja 27ñ y 27o)
- **Formación Castrovirreyna - Miembro inferior (PN-cas/i):** Areniscas retrabajadas, limoarcillitas y calizas. (hoja 27n)
- **Formación Castrovirreyna - Miembro superior (PN-cas/s):** Andesitas porfíricas, tobas. (hoja 27m y 27n)
- **Riolita (PN-ri):** Riolita (hoja 27o)
- **Formación Ticllas (Ppe-t):** Arenisca, lutitas y limolitas. (hoja 27o)
- **Depósito biogénico (Q-bi):** Limos, arenas y niveles orgánicos. (hoja 27m y 27n)
- **Depósito coluvial (Q-cl):** Constituida por bloques rocosos heterométricos y homogéneos angulosos a sub angulosos. (hoja 28m)
- **Depósito eólico (Q-eo):** Arenas cuarzosas formando dunas y pampas amplias. (hoja 27k y 28l)
- **Depósito fluvial (Q-fl):** Acumulaciones de gravas, arenas, limos y arcillas transportadas en el cauce de río y quebradas. (hoja 28l y 27n)
- **Depósito glaciario (Q-gl):** Depósitos morrénicos, bloques angulosos rellenos con arcillas, limos y arenas. (hoja 27n)
- **Depósito glaciario, fluvial (Q-glfl):** Gravav, arenas en matriz limoarenosa. Arenas y materiales residuales no consolidados. (hoja 28m, 27m y 27n)
- **Depósito residual (Q-re):** **Materiales de pie de monte. (hoja 27k, 28k y 28l)**
- **Depósito aluvial (Qh-al):** Acumulación de grava, arena, limo y arcilla con clastos subangulosos a angulosos de diferente composición. (hoja 27k, 27n, 27ñ, 27o, 28m y 28l)
- **Depósito aluvial (Qp-al):** Acumulación de grava, arena, limo y arcilla con clastos subangulosos a angulosos de diferente composición. (hoja 28m)
- **Formación Cañete (Qp-cañ):** Conglomerados polimícticos, con cantos rodados de rocas ígneas, metamórficas y volcánicas. (hoja 28k)
- **Formación Cañete - Miembro inferior (Qp-cañ/i):** Arenas en capas medianas a delgadas, conglomerados. (hoja 27k)
- **Grupo Pucará (TsJi-p):** Calizas gris azulinas en bancos medios a gruesos con nódulos de chert. (hoja 27n)

MAPA GEOLÓGICO DE PERÚ LNG S.R.L.



LEYENDA						
PERÚ LNG S.R.L.	Ks-bc/l-tn	KsP-gd	Nm-cau/con-and,rda	P-s	Ppe-t	Qp-cañ
Geología	Ks-bc/l-gb,mgb	N-a/ch-andp	Nm-cau/con-and,rda	P-s/i	Q-bi	Qp-cañ/i
CpPEc-t,c	Ks-bc/l-mdi	N-a/ch-tbsvi	Nm-cha	P-t	Q-cl	TsJi-p
Ki-chu	Ks-bc/l-mgr	N-anda	Nm-cho-and	PE-cqu-gr	Q-eo	
Ki-co	Ks-bc/pa-di	Nm-ap/i	Nm-cho-ri	PET-bva/sm-gr	Q-fl	
Ki-pt	Ks-bc/pa-tn	Nm-ap/s	Nm-chocc-and	PET-m	Q-gl	
Kis-qui	Ks-bc/pt-gb	Nm-au	Nm-sall	PET-ya-and	Q-glfi	
Ks-bc/l-di	Ks-bc/t-gd	Nm-ay/i	Np-huar	PN-cas/i	Q-re	
Ks-bc/i-gd	Ks-bc/t-tn	Nm-ay/s	Np-por	PN-cas/s	Qh-al	
Ks-bc/l-mgr	KsP-c	Nm-cau/con	Np-por/i	PN-ri	Qp-al	
			Np-por/m			

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO
ABAD DEL CUSCO**

TESIS:
"APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA DE FISCALIZACIÓN
GEOTÉCNICA BASADA EN RIESGOS
Y
TECNOLOGÍA DE INMERSIÓN
EN LOS SISTEMAS DE TRANSPORTE POR
DUCTOS DE GAS NATURAL DEL PERÚ – 2023"

Elaborado por: **Bach. Win Kevin Lucana Alvarez**

Asesor: **Dr. Ronald Luis Lopez Zapana**



5.4 Geología de PPC

La empresa Pluspetrol Perú Corporation S.A. se encuentra operando su sistema de transporte una parte en una zona geográfica costera y selvática, recorriendo las siguientes formaciones geológicas en el sector selva:

- **Grupo tarma (Cp-t):** Areniscas gris verdosas en bancos gruesos, intercalados con lutitas marrón oscuras estratificadas en capas delgadas y areniscas calcáreas.
- **Formación ipururo – miembro medio (Nmp-i/m):** Areniscas conglomerados y lutitas grises.
- **Formación Yahuarango (P-y):** Areniscas rojo púrpuras, arcillitas rojo grisáceas, areniscas calcáreas, margas y conglomerados de guijarros.
- **Grupo Copacabana (PEc-c):** Calizas micríticas y bioclásticas intercaladas con lutitas y areniscas blancas, hacia el techo presencia de fauna fósil.
- **Formación chambira (PN-ch):** Areniscas grises y marrones de grano medio a grueso en estratos gruesos a medianos con contenidos de materia orgánica e intercalaciones de limoarcillitas marrones a pardas y arcillas.
- **Depósito aluvial – fluvial (Q-alf):** Gravas, arenas heterolíticas y algunos limos.
- **Depósito aluvial (Q-fl):** Acumulaciones de fragmentos rocosos heterométricos (arena, cantos, bolos, etc.)
- **Depósito aluvial (Qh-al):** Acumulaciones de fragmentos rocosos heterométricos y heterogéneos de (arena, cantos, bolos, etc.).

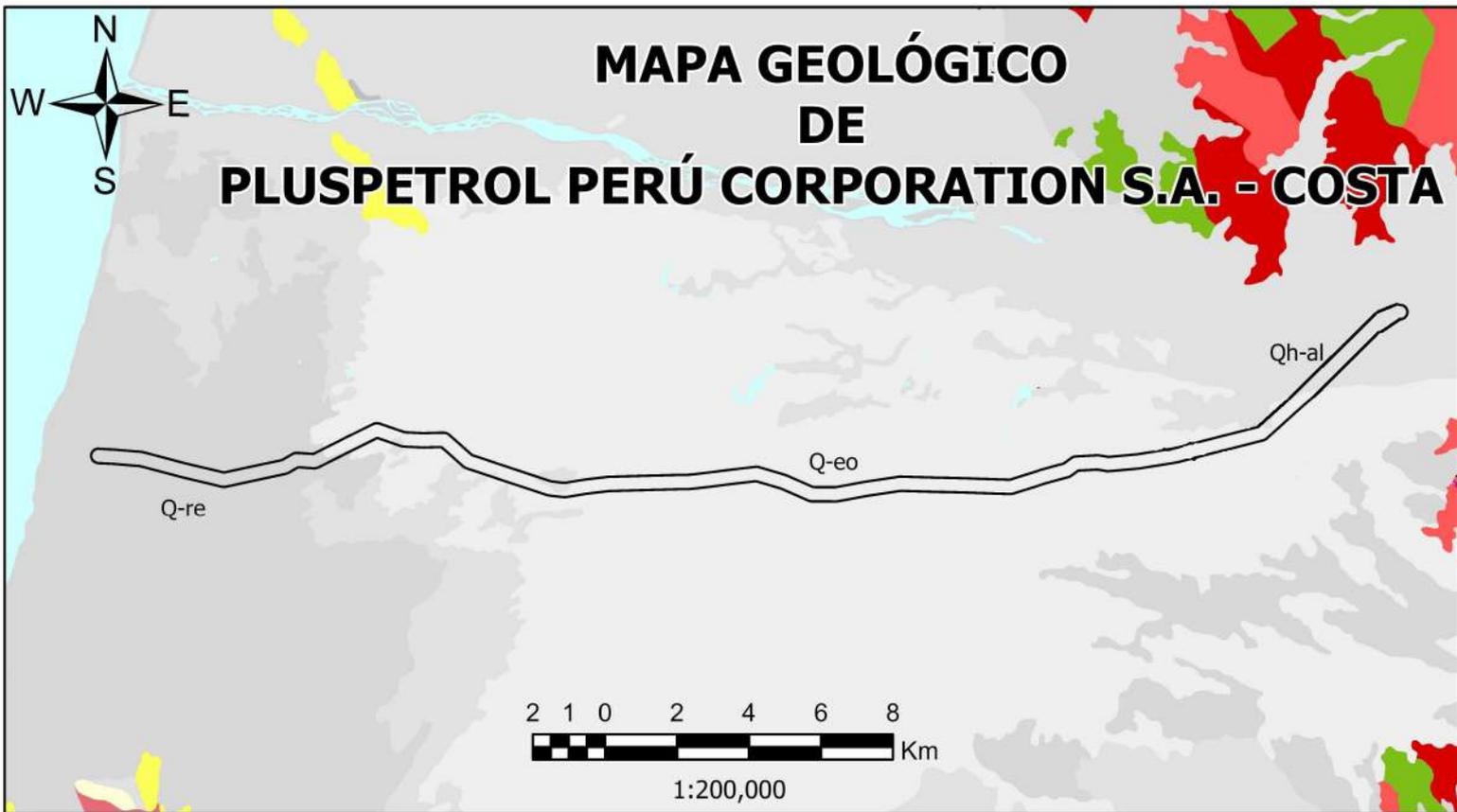
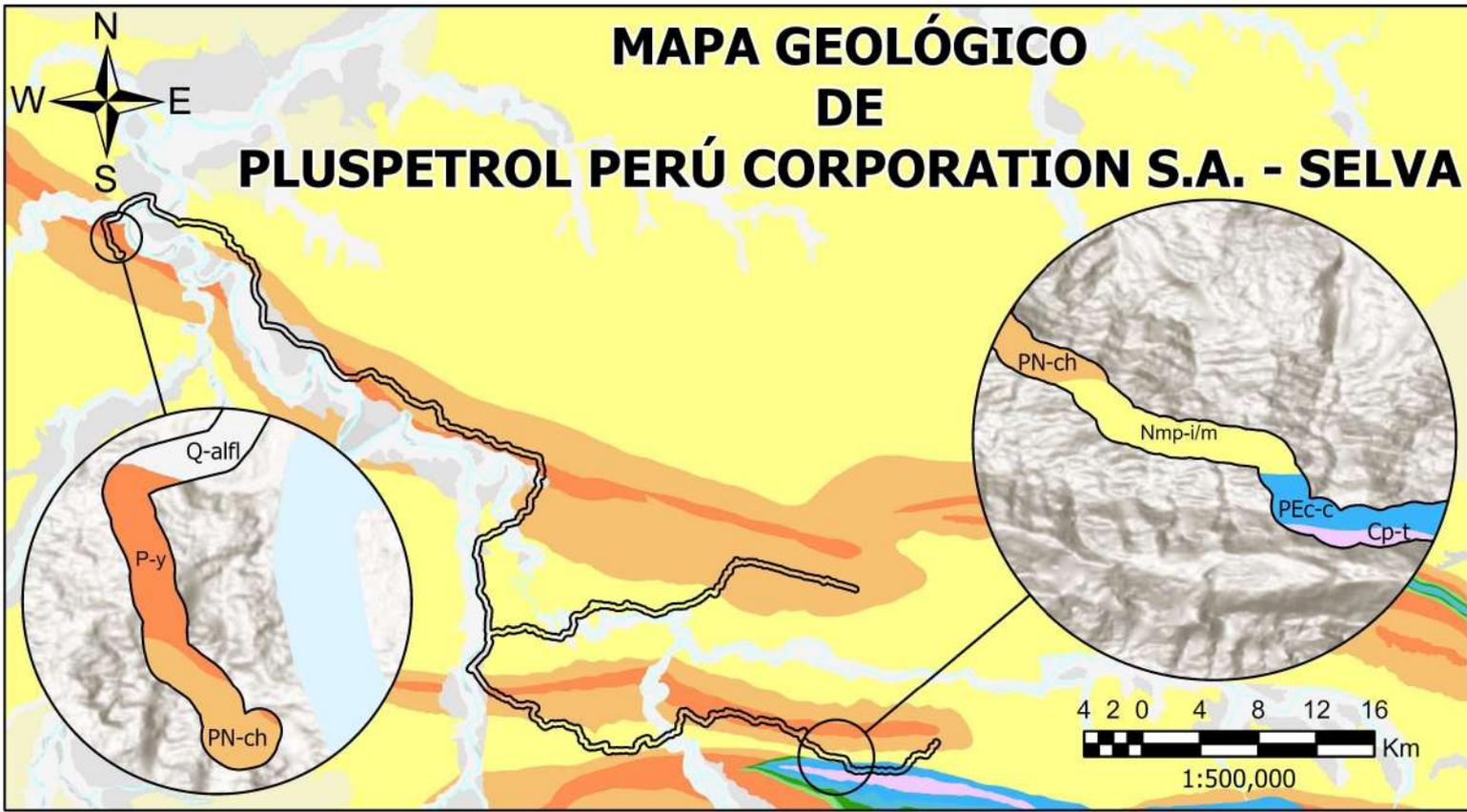
Así mismo, recorre las siguientes formaciones geológicas en el sector costa:

- **Depósito eólico (Q-eo):** Arenas cuarzosas de grano fino a medio de superficie ondulada, cubriendo grandes extensiones con espesores que no pasan de 1 m.
- **Depósito residual (Q-re):** Materiales de pie de monte, cubren grandes superficies, pampas y penillanuras.
- **Depósito aluvial (Qh-al):** Gravas, arenas y limos, cercano a depósitos de ríos formando terrazas.

5.5 Geología de REP

La empresa Repsol exploración Perú, Sucursal del Perú opera su sistema de transporte por ductos en la zona geográfica selva, recorriendo las siguientes formaciones geológicas:

- **Formación ipururo – miembro medio (Nmp-i/m):** Areniscas conglomerados y lutitas grises.
- **Formación Yahuarango (P-y):** Areniscas rojo púrpuras, arcillitas rojo grisáceas, areniscas calcáreas, margas y conglomerados de guijarros.
- **Formación chambira (PN-ch):** Areniscas grises y marrones de grano medio a grueso en estratos gruesos a medianos con contenidos de materia orgánica e intercalaciones de limoarcillitas marrones a pardas y arcillas.
- **Depósito aluvial – fluvial (Q-alf):** Gravas, arenas heterolíticas y algunos limos.
- **Depósito aluvial (Qh-al):** Acumulaciones de fragmentos rocosos heterométricos y heterogéneos de (arena, cantos, bolos, etc.).



LEYENDA

PLUSPETROL PERÚ CORPORATION S.A.	
Geología selva	Geología costa
Cp-t	Q-eo
Nmp-i/m	Q-re
P-y	Qh-al
PEc-c	
PN-ch	
Q-alfi	
Q-fl	
Qh-al	

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO
ABAD DELCUSCO**

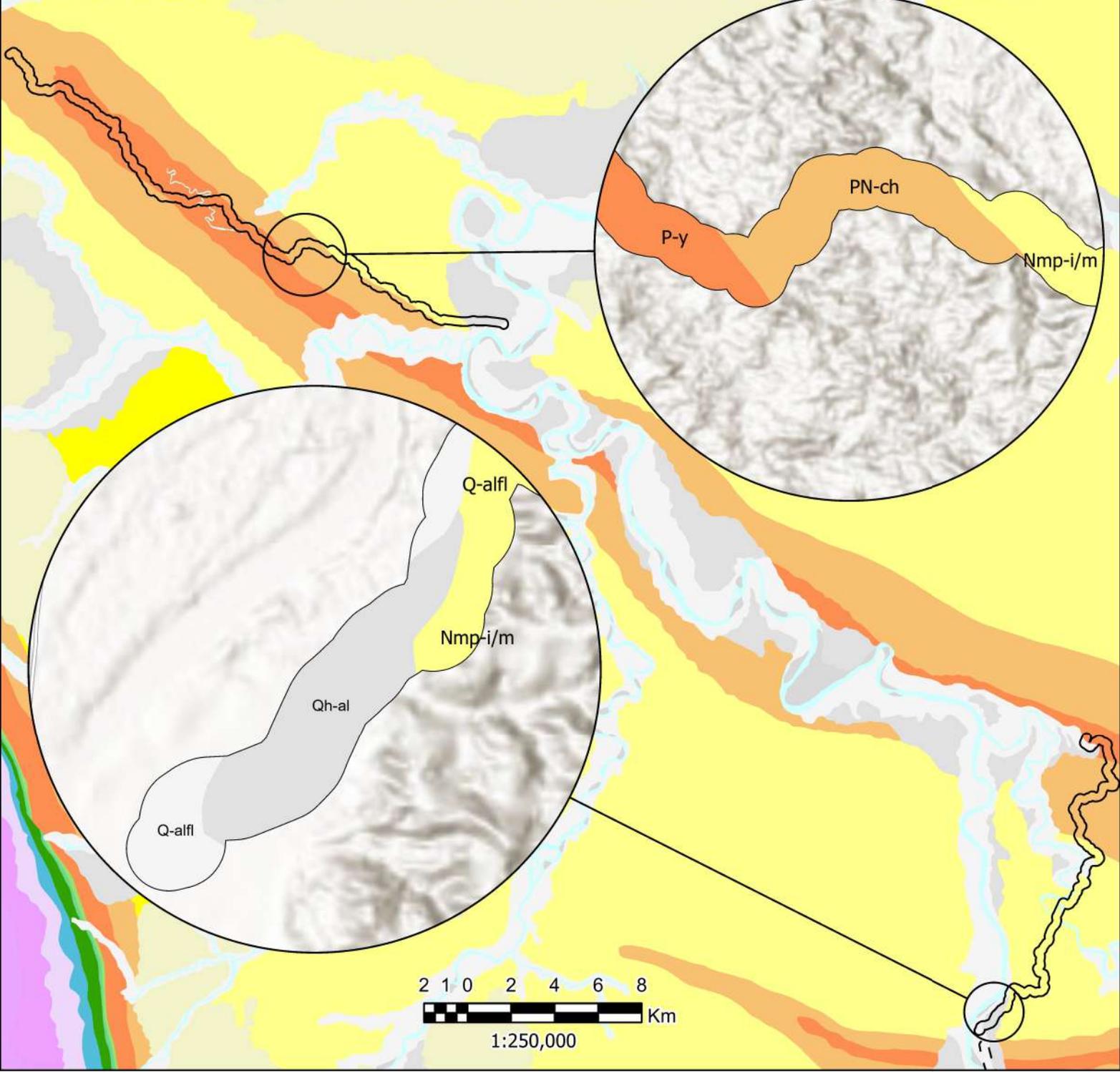
TESIS:
"APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA DE FISCALIZACIÓN
GEOTÉCNICA BASADA EN RIESGOS
Y
TECNOLOGÍA DE INMERSIÓN
EN LOS SISTEMAS DE TRANSPORTE POR
DUCTOS DE GAS NATURAL DEL PERÚ - 2023"

Elaborado por:
Bach. Win Kevin Lucana Alvarez

Asesor:
Dr. Ronald Luis Lopez Zapana



MAPA GEOLÓGICO DE REPSOL EXPLORACIÓN PERÚ SUCURSAL DEL PERÚ



LEYENDA

REPSOL EXPLORACIÓN PERÚ SUCURSAL DEL PERÚ

Geología

- Nmp-i/m
- P-y
- PN-ch
- Q-alf
- Qh-al

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO

TESIS:
"APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA DE FISCALIZACIÓN GEOTÉCNICA BASADA EN RIESGOS Y TECNOLOGÍA DE INMERSIÓN EN LOS SISTEMAS DE TRANSPORTE POR DUCTOS DE GAS NATURAL DEL PERÚ – 2023"

Elaborado por: Bach. Win Kevin Lucana Alvarez

Asesor: Dr. Ronald Luis Lopez Zapana



5.6 Geología de TGP

La empresa Transportadora de gas del Perú S.A. opera su sistema de transporte, que es el de mayor longitud, en las zonas geográficas costa, sierra y selva, recorriendo las siguientes formaciones geológicas:

- **Grupo Ambo (Cm-a):** Areniscas cuarzosas limolitas y lutitas con contenido de materia orgánica. (hoja 25p)
- **Grupo Tarma, Copacabana (CpPEc-t,c):** Limolitas gris oscuras masivas intercaladas con areniscas grisáceas de grano medio en capas gruesas y areniscas calcáreas. (hoja 27o y 25p)
- **Grupo Cabanillas (D-c):** Esquistos cuarzosos feldespáticos, filitas y pizarras, limoarcillitas cremas, filitas, areniscas finas. (hoja 26o, 26p y 25p)
- **Batolito de la Costa - Super Unidad Jecúan (K-bc/j-di):** Diorita (hoja 26j)
- **Batolito de la Costa - Super Unidad Jecúan (K-bc/j-gr):** Granito (hoja 26j)
- **Batolito de la Costa - Super Unidad Jecúan (K-bc/j-tn):** Tonalita (hoja 26j)
- **Andesita (Ki-and):** Andesita (hoja 25j y 26j)
- **Formación Atocongo (Ki-at):** Calizas gris claras micríticas a beige, altamente silicificados (hoja 25j y 26j)
- **Formación Chilca (Ki-chil):** Tobas líticas y vítricas con intercalaciones de brechas volcánicas, calizas bioclásticas y areniscas volcánicas. (hoja 25j y 26j)
- **Formación Chúlec (Ki-chu):** Calizas arenosas, areniscas calcáreas en capas medianas, coloraciones parduzcas a beige. (hoja 28l y 28m)
- **Formación Copara (Ki-co):** Tobas líticas y tobas vítricas cristalinas, brechas volcánicas masivas, tobas y areniscas volcánicas. (hoja 28m)
- **Formación Herradura (Ki-h):** Calizas gris oscuras, limoarcillitas fisibles de textura pizarrosa gris oscura con areniscas pardas. (hoja 26j)
- **Formación Marcavilca (Ki-mar):** Areniscas cuarzosas de grano medio a fino de color gris verdoso, marrón y blanquecino. (hoja 26k y 26j)
- **Grupo Oriente (Ki-o):** Areniscas cuarzosas blancas a gris claro, microconglomerados cuarzosos, en la parte media a inferior presenta intercalaciones de lutita y algunos lentes de carbón (hoja 25p y 25q)
- **Formación Pamplona (Ki-pa):** Areniscas, lutitas y calizas, margas calcáreas (hoja 26j)
- **Formación Pariatambo (Ki-pt):** Lutitas grises a negras, calizas bituminosas nodulares (hoja 28m)
- **Formación Pucusana (Ki-pu):** Brechas volcánicas, aglomerados, tobas líticas y lavas. (hoja 26k)
- **Formación Quilmaná (Kis-qui):** Tobas vitreas y derrames andesíticos masivos, lavas almohadilladas y amigdaloides, areniscas volcánicas. (hoja 28l y 28k)



- **Batolito de la Costa - Super Unidad Incahuasi (Ks-bc/i-di):** diorita (hoja 28m)
- **Batolito de la Costa - Super Unidad Incahuasi (Ks-bc/i-gd):** granodiorita (hoja 28m y 28l)
- **Batolito de la Costa - Super Unidad Incahuasi (Ks-bc/i-mgr):** monzogranito (hoja 28m)
- **Batolito de la Costa - Super Unidad Incahuasi (Ks-bc/i-tn):** tonalita (hoja 28m)
- **Batolito de la Costa - Super Unidad Linga (Ks-bc/l-gb,mgb):** gabro, monzogabro (hoja 28m)
- **Batolito de la Costa - Super Unidad Linga (Ks-bc/l-gd):** granodiorita (hoja 26k)
- **Batolito de la Costa - Super Unidad Linga (Ks-bc/l-mdi):** monzodiorita (hoja 28l)
- **Batolito de la Costa - Super Unidad Linga (Ks-bc/l-mdi,mz):** monzodiorita, monzonita (hoja 26k y 27k)
- **Batolito de la Costa - Super Unidad Linga (Ks-bc/l-mz):** monzonita (hoja 27k)
- **Batolito de la Costa - Super Unidad Pampahuasi (Ks-bc/pa-di):** diorita (hoja 28m)
- **Batolito de la Costa - Super Unidad Pampahuasi (Ks-bc/pa-tn):** tonalita (hoja 28l)
- **Batolito de la Costa - Super Unidad Patap (Ks-bc/pt-gb):** gabro (hoja 28l)
- **Batolito de la Costa - Super Unidad Tiabaya (Ks-bc/t-gd):** granodiorita (hoja 28l)
- **Plutón Characas (Ks-cha-mgr):** monzogranito (hoja 28l)
- **Formación Casapalca (KsP-c):** Areniscas, lutitas, limoarcillitas, conglomerados calcáreos de coloraciones rojizas a marrones. Flujo andesítico basal subordinado. (hoja 27n)
- **Granodiorita (KsP-gd):** Granodiorita (hoja 27n)
- **Formación Astobamba – Tacsana (N-a/t-andp):** andesita porfídica (hoja 27n y 27m)
- **Andesita (N-and):** Andesita (hoja 27m y 27ñ)
- **Andesita afanítica (N-anda):** Andesita afanítica (hoja 28m)
- **Andesita porfídica (N-andp):** Andesita porfídica (hoja 28m)
- **Formación Apacheta - Miembro inferior (Nm-ap/i):** Flujos piroclásticos, volcanoclasticos, volcanosedimentarios, andesitas (hoja 27n)
- **Formación Apacheta - Miembro superior (Nm-ap/s):** Andesita, tobas (hoja 27n)
- **Formación Auquivilca (Nm-au):** Brechas tobáceas cubiertas por areniscas y limolitas, calizas, tobas y andesitas (hoja 27m, 27n y 28m)
- **Formación Ayacucho - Miembro inferior (Nm-ay/i):** Ignimbritas, toba lítica (hoja 27o y 27ñ)
- **Formación Ayacucho - Miembro superior (Nm-ay/s):** Tobas, limolitas, areniscas, diatomitas y conglomerados (hoja 27ñ)

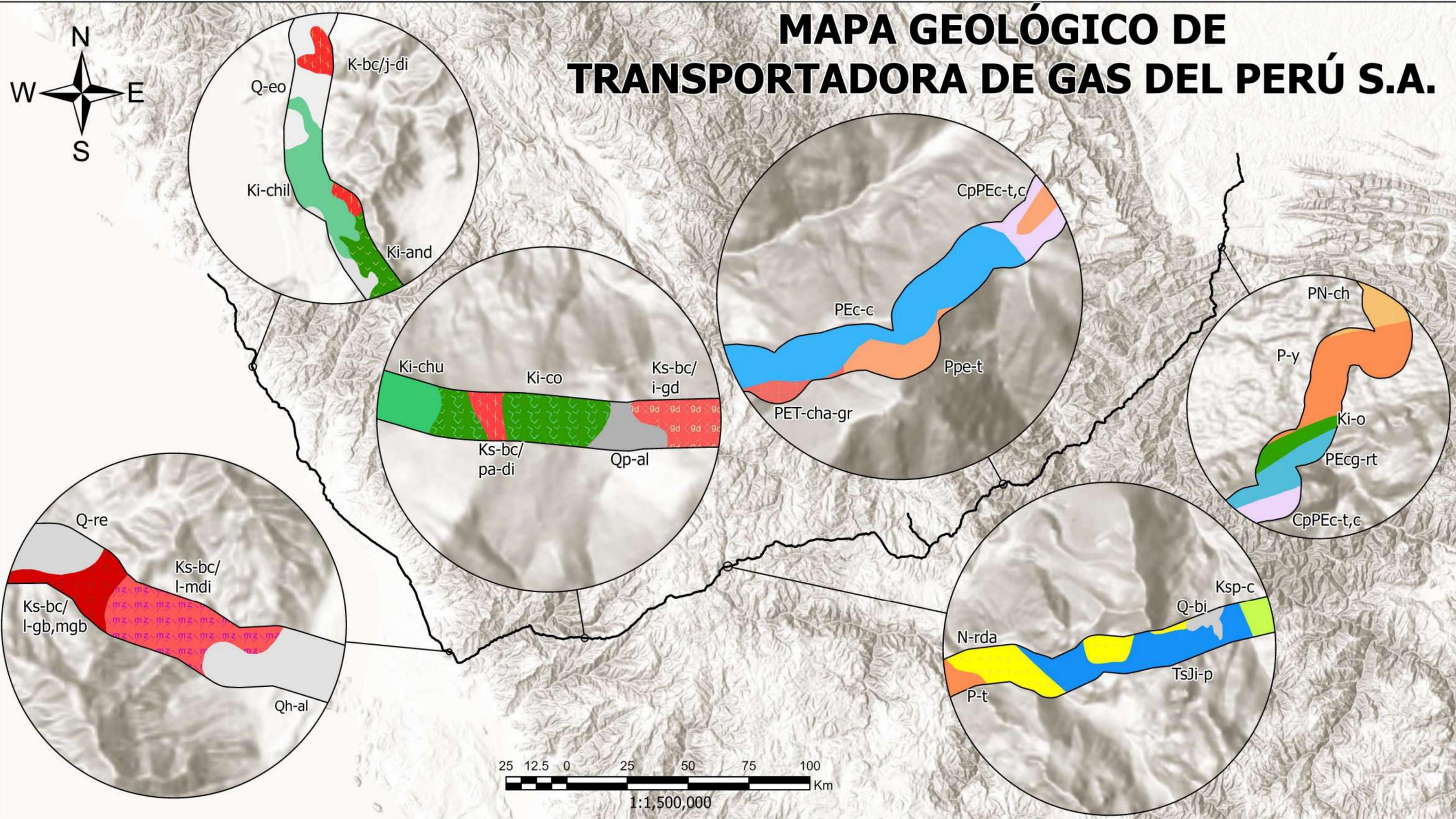


- **Formación Caudalosa – Condorillo (Nm-cau/con):** Tobas, bloques, lavas andesíticas, dacitas, riolitas (hoja 28m)
- **Formación Caudalosa - Condorillo - andesita, riodacita (Nm-cau/con-and,rda):** Andesitas afaníticas (hoja 28m)
- **Formación Chahuarma (Nm-cha):** Tobas, andesitas basálticas (hoja 27n)
- **Formación Chaupi Orcco (Nm-cho-and):** Andesitas afaníticas y porfíricas (hoja 27ñ)
- **Formación Choccehuacgra (Nm-chocc-and):** Andesita (hoja 27ñ)
- **Formación Chaupi Orcco – riolita (Nm-cho-ri):** Riolita (hoja 27ñ)
- **Formación Ipururo (Nmp-i):** Areniscas limosas, gris a rojizos, arcillitas calcáreas, margas y conglomerados de guijarros. (hoja 25q y 24q)
- **Formación Ipururo - Miembro medio (Nmp-i/m):** Areniscas, conglomerados y lutitas grises (hoja 24q)
- **Formación Sallalli (Nm-sall):** Tobas cristaloclasticas de composición riolítica (hoja 27ñ)
- **Complejo del Marañón - filita, esquisto (NP-cm-fil,esq):** Filitas y esquistos de cuarzo micas y de cloritas. (hoja 27o y 26o)
- **Dacita (Np-da):** Dacita (hoja 27n)
- **Formación Huari (Np-huar):** Flujos de lavas grises (hoja 27ñ)
- **Centro volcánico Lucho Jahuanapampa (Np-lj-and):** Andesita (hoja 27ñ)
- **Formación Portuguesa (Np-por):** Tobas blancas con matriz de ceniza, líticos y pómez (hoja 27n y 27ñ)
- **Formación Portuguesa - Miembro inferior (Np-por/i):** Toba de brechas, tobas de lapilli y al techo brechas y lavas (hoja 27n)
- **Formación Portuguesa - Miembro medio (Np-por/m):** Andesitas porfíricas, tobas y andesitas basálticas (hoja 27n)
- **Formación Río Picha (NQ-rp):** Gravas, arenas y arcillas medianamente consolidadas. (hoja 25q y 24q)
- **Riodacita (N-rda):** Riodacita (hoja 27n)
- **Grupo San José (Oim-sj):** Limoarcillitas oscuras masivas, areniscas finas verdosas y limoarcillitas laminares con fauna de graptolites. (hoja 26o y 26p)
- **Formación Sandia (Os-s):** Cuarcitas en estratos medios a gruesos, bastante deformadas y pizarras (hoja 26o y 26p)
- **Formación San Gabán (Os-sg):** Pizarras, diamictitas cuarcitas y microconglomerados. (hoja 26p)
- **Diorita (P-di):** Diorita (hoja 26o)
- **Grupo Copacabana (PEc-c):** Calizas bioclásticas, areniscas y lutitas negras (hoja 27o)
- **Formación Río Tambo (PEcg-rt):** Areniscas rojizas, calizas micritas, limoarcillitas grises a rojizas con lentes y nódulos de chert. (hoja 25q y 25p)



- **Complejo Querobamba – granito (PE-cqu-gr):** granito (hoja 27ñ)
- **Batolito Villa Azul - San Miguel – granito (PET-bva/sm-gr):** granito (hoja 27o)
- **Plutón Changui – granito (PET-cha-gr):** granito (hoja 27o)
- **Grupo Mitu (PET-m):** Areniscas conglomerados, brechas, lavas y tobas de cenizas (hoja 27o y 27ñ)
- **Formación Castrovirreyna - Miembro inferior (PN-cas/i):** Areniscas retrabajadas, limoarcillitas y calizas. (hoja 27n)
- **Formación Castrovirreyna - Miembro superior (PN-cas/s):** Andesitas porfíricas, tobas. (hoja 25m, 25n y 28m)
- **Formación Chambira (PN-ch):** Arenisca gris de grano fino - medio, limonita y arcillas grises y areniscas conglomerádicas. (hoja 25q y 24q)
- **Formación Tiellas (Ppe-t):** Arenisca, lutitas y limolitas. (hoja 27o)
- **Formación Sacsaquero - Miembro inferior (P-s/i):** Estratos de bloques clastos polimícticos subangulosos. (hoja 28m)
- **Formación Sacsaquero - Miembro superior (P-s/s):** Estratos gruesos macizos soportado en matriz de arena. (hoja 28m)
- **Formación Tantaré (P-t):** Andesita basálticas, conglomerados, clastos de volcánicos y areniscas gruesas. (hoja 27n)
- **Formación Yahuarango (P-y):** Areniscas de grano fino, gris blanquecinas, lodolitas y limolitas arcillosas. (hoja 25p, 25q y 24q)
- **Depósito aluvial, fluvial (Q-alf):** Gravas y arenas en matriz limoarenosa, incluye conos aluviales. (hoja 24q)
- **Depósito biogénico (Q-bi):** Limos, arenas y niveles orgánicos. (hoja 27n y 28m)
- **Depósito coluvial (Q-cl):** Constituida por bloques rocosos heterométricos y homogéneos angulosos a sub angulosos. (hoja 28m)
- **Depósito eólico (Q-eo):** Arenas cuarzosas formando dunas y pampas amplias. (hoja 27k, 25j, 26j y 26k)
- **Depósito fluvial (Q-fl):** Acumulaciones de gravas, arenas, limos y arcillas transportadas en el cauce de río y quebradas. (hoja 27k, 25p, 24q, 26o, 26p y 24q)
- **Depósito glaciar (Q-gl):** Depósitos morrénicos, bloques angulosos rellenos con arcillas, limos y arenas. (hoja 27n)
- **Depósito glaciar, fluvial (Q-glfl):** Gravas, arenas en matriz limoarenosas. Arenas y materiales residuales no consolidados. (hoja 27m y 28m)
- **Depósito aluvial (Qh-al):** Acumulación de grava, arena, limo y arcilla con clastos subangulosos a angulosos de diferente composición. (hoja 27k, 27n, 28m, 28l, 28k, 26o, 27o, 27ñ, 25j, 26j, 26p, 24q, 26k)
- **Formación Cañete (Qp-cañ):** Conglomerados polimícticos, con cantos rodados de rocas ígneas, metamórficas y volcánicas. (hoja 28k y 26j)
- **Formación Cañete - Miembro inferior (Qp-cañ/i):** Arenas en capas medianas a delgadas, conglomerados. (hoja 27k)
- **Depósito residual (Q-re):** Materiales de pie de monte. (hoja 27k, 28k y 28l)
- **Formación Ananea (SD-a):** Lutitas y limolitas grises predominantemente, areniscas lenticulares esporádicamente y pizarras negras. (hoja 26p, 25p y 26o)
- **Grupo Pucará (TsJi-p):** Calizas gris azulinas en bancos medios a gruesos con nódulos de chert. (hoja 27n)

MAPA GEOLÓGICO DE TRANSPORTADORA DE GAS DEL PERÚ S.A.



LEYENDA

buftg ₁	Ki-at	Kis-qui	Ks-bc/pa-di	N-andp	Nm-cau/con-and,rda	Np-huar	P-s/s	PN-cas/s	Q-re
buftg ₂	Ki-chil	Ks-bc/i-di	Ks-bc/pa-tn	N-rda	Nm-cho-ri	Np-lj-and	P-t	PN-ch	Qh-al
TGPg ₁	Ki-chu	Ks-bc/i-gd	Ks-bc/pt-gb	NP-cm-fil,esq	Nm-cho-ri	Np-por	P-y	Ppe-t	Qp-al
Cm-a	Ki-co	Ks-bc/i-mgr	Ks-bc/t-gd	NQ-rp	Nm-cho-ri	Np-por/i	PE-cqu-gr	Q-alfi	Qp-cañ
CpPEc-t,c	Ki-h	Ks-bc/i-tn	Ks-cha-mgr	Nm-ap/i	Nm-cho-ri	Np-por/m	PET-bva/sm-gr	Q-bi	Qp-cañ/i
D-c	Ki-mar	Ks-bc/l-gb,mgb	KsP-c	Nm-ap/s	Nm-cho-ri	Oim-sj	PET-cha-gr	Q-cl	SD-a
K-bc/j-di	Ki-o	Ks-bc/l-gd	KsP-gd	Nm-au	Nm-cho-ri	Os-s	PET-m	Q-eo	TsJi-p
K-bc/j-gr	Ki-pa	Ks-bc/l-mdi	N-a/t-andp	Nm-ay/i	Nm-cho-ri	Os-sg	PEc-c	Q-fl	
K-bc/j-tn	Ki-pt	Ks-bc/l-mdi,mz	N-and	Nm-ay/s	Nm-cho-ri	P-di	PEcg-rt	Q-gl	
Ki-and	Ki-pu	Ks-bc/l-mz	N-anda	Nm-cau/con	Nm-cho-ri	P-s/i	PN-cas/i	Q-glfi	

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO

TESIS:
"APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA DE FISCALIZACIÓN GEOTÉCNICA BASADA EN RIESGOS Y TECNOLOGÍA DE INMERSIÓN EN LOS SISTEMAS DE TRANSPORTE POR DUCTOS DE GAS NATURAL DEL PERÚ - 2023"

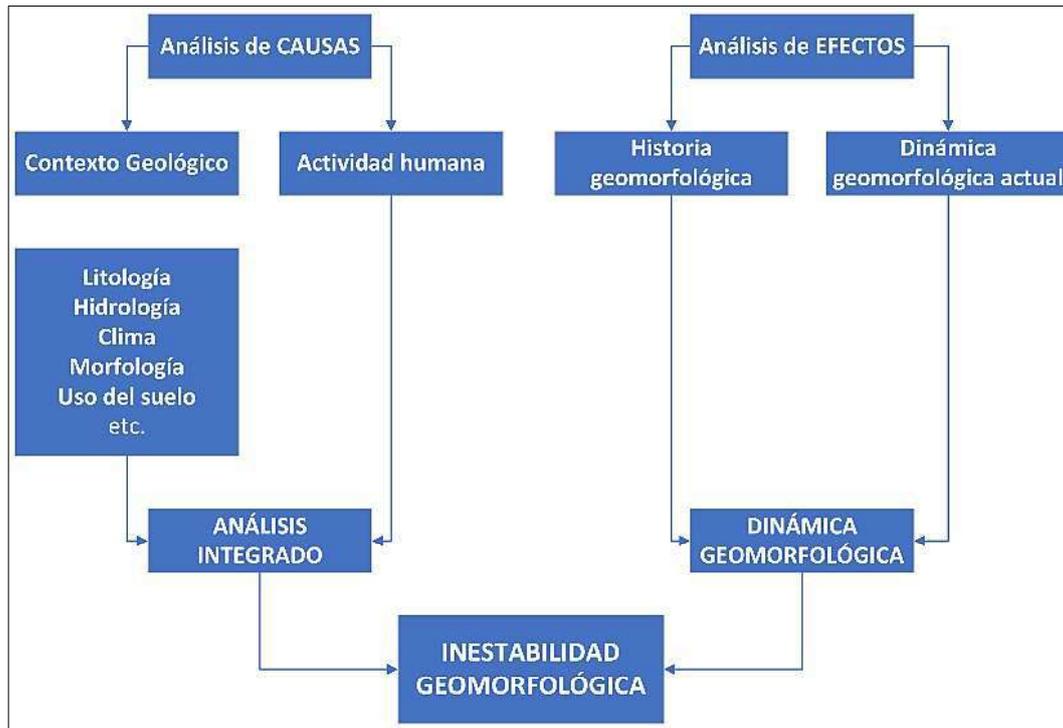
Elaborado por: Bach. Win Kevin Lucana Alvarez

Asesor: Dr. Ronald Luis Lopez Zapana

5.7 Geomorfología

La geomorfología se refiere al estudio de las formas en la que se encuentran dispuestos los suelos y rocas en nuestro planeta Tierra, en relación a los STD en el Perú se tiene una gran variedad de geoformas por donde recorren los ductos, en la figura 14, se aprecia que los ductos atraviesan tanto por zonas de bajas pendientes como terrazas fluviales, así como también pendientes más pronunciadas en las montañas.

Figura 13: Determinación de la inestabilidad geomorfológica

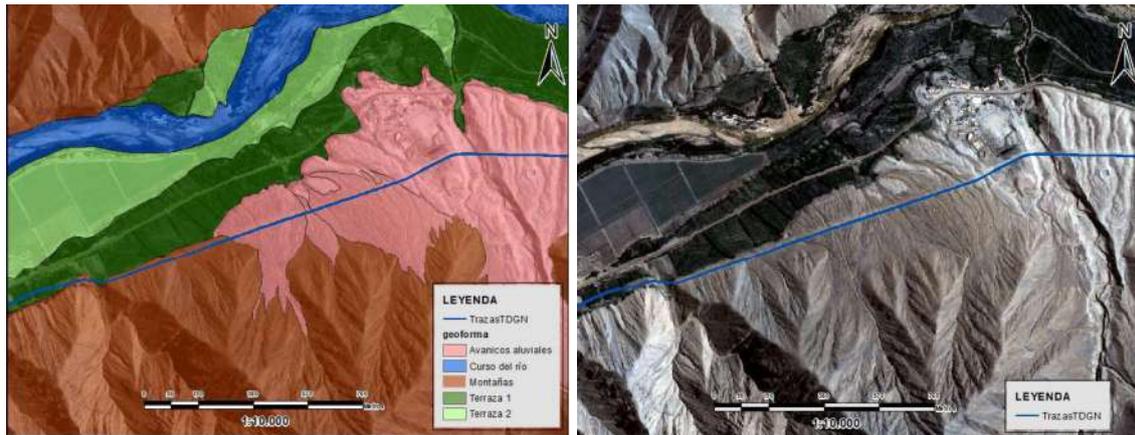


Fuente: Modificado de Panizza, 1999

De la figura 13, se entiende que la estabilidad geomorfológica está relacionada directamente con la litología, hidrología, clima y otros, estos al ser analizados de forma integrada y relacionándola con su historia geomorfológica y dinámica actual se podrá determinar si una geoforma se encuentra estable o si aun ocurrirán cambios significativos que puedan ser un riesgo para los Ductos.

A continuación, se aprecia un ejemplo de las geoformas sobre las que puede recorrer un sistema de transporte por ductos:

Figura 14: Ejemplo de geoformas identificadas



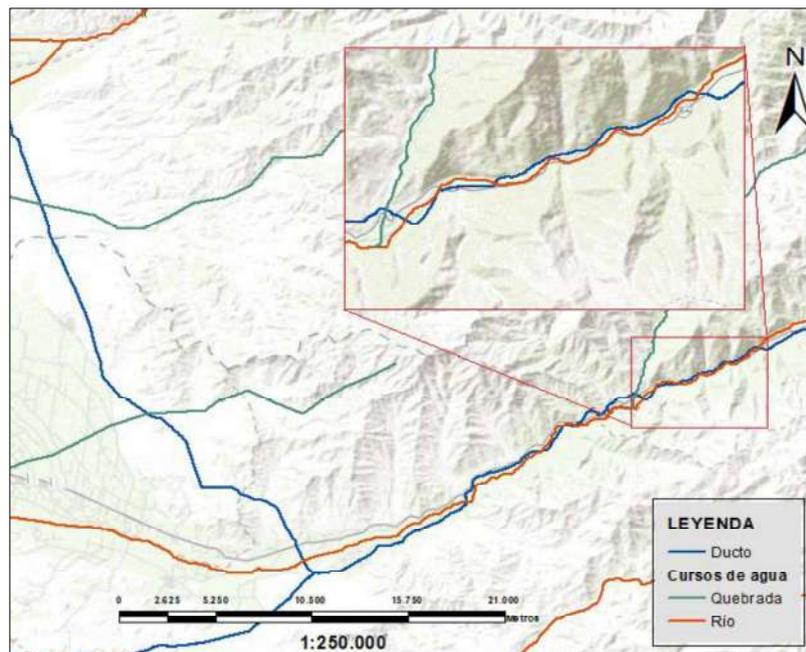
5.8 Hidrología

El Perú cuenta con una diversidad de cuencas hidrográficas que drenan los recursos hídricos hacia distintos ríos principales los cuales llegan hasta el mar, además, se agrupan en tres vertientes principales: Atlántico, Pacífico y Titicaca.

La geohidrología en relación a los STD, entre lo más importante, tiene influencia en lo siguiente:

- Riesgo geológico: debido a su longitud los STD en el Perú cruzan ríos, quebradas, arroyos pequeños, entre otros. Pudiendo generar la exposición de los ductos.
- Estabilidad: Es muy conocido la acción que tiene el agua en cuanto a la inestabilidad de taludes, siendo considerado como desencadenante.

Figura 15: Ejemplo de cruces de STD con cursos de agua





5.9 Geoamenazas

La Pipeline Research Council International (PRCI) ha identificado 22 causas que representan una amenaza a la integridad de Ductos; Estas causas se agrupan en 03 segmentos: dependientes del tiempo, independientes del tiempo y estables en el tiempo, los cuales a su vez se clasifican en diversas categorías.

Esta tesis de investigación se centra en el estudio de la categoría “Relacionada con el clima y fuerzas externas” exactamente de las amenazas hidrotécnicas y geotécnicas, también conocidas como geoamenazas:

Tabla 07: Amenazas independientes del tiempo

Segmento	Categoría	Amenaza	
Independiente del tiempo	Daños por terceros o mecánicos	Daños por primeras, segundas y terceras partes (fallo instantáneo/inmediato)	
		tubería previamente dañada, como abolladuras y/o hendiduras (modo de fallo retardado)	
		Vandalismo	
	Procedimiento operativo incorrecto	Procedimiento operativo incorrecto	
	Relacionada con el clima y fuerzas externas		clima excesivamente cálido o frío (fuera del gama de diseño)
			viento fuerte
Hidrotécnicos			
Geotécnicos			
		Relámpagos	

Fuente: Elaboración propia a partir de ASME B31.8S-2022.

5.9.1 Erosión

Es un proceso geológico que “comprende el desprendimiento, transporte y posterior depósito de materiales de suelo o roca por acción de la fuerza de un fluido en movimiento. La erosión puede ser generada tanto por el agua como por el viento” (Suárez, 2001)

En ese sentido en la presente tesis de investigación se describe la erosión por separado, en vista que puede ser considerado como una geoamenaza geotécnica e hidrotécnica, teniendo como principales desencadenantes al agua y viento, provocando la pérdida de cobertura de los Ductos, desestabilizando los DDV y generando problemas hidrotécnicos en los cruces con cursos de agua como quebradas, ríos y otros; de esta manera tiene una marcada influencia en ambas partes.

Smith y Wischmeter proponen la ecuación más conocida y utilizada para la medida del potencial de erosión, la cual es “La ecuación universal de pérdidas de suelo” nombre como también es conocida la erosión, que se calcula mediante la siguiente expresión:

$$A = R \cdot K \cdot S \cdot L \cdot C \cdot P$$

A: Pérdida de suelo por unidad de superficie

R: Factor lluvia (Índice de erosión pluvial)

K: Factor de erosionabilidad del suelo

L: Factor longitud

S: Factor pendiente

C: Factor cultivo y ordenación

P: Factor prácticas de conservación del suelo

Dicha ecuación también puede ser adaptada al cálculo de erosión de rocas (meteorización), ajustando el *Factor K* o introduciendo un nuevo parámetro relacionado con la resistencia de la roca a la erosión.

Así mismo, en cuanto a la erosión eólica la ecuación más utilizada para el cálculo de su potencial es la Ecuación de Bagnold:

$$E = R \cdot K \cdot U \cdot C \cdot P$$

E: Pérdida de suelo por unidad de tiempo y superficie

R: Densidad de partículas del suelo expuesto al viento

K: Constante que tiene en cuenta la forma y tamaño de las partículas y la rugosidad de la superficie

U: Velocidad del viento a una altura específica de la superficie

C: Factor cultivo y otros que afecten la erosión

P: Factor prácticas de conservación del suelo

Es así que, existen diversos procesos geológicos de erosión como es la erosión por el viento, erosión por gotas de lluvia, erosión laminar, erosión en surcos, erosión en cárcavas, erosión interna, entre otros.

A continuación, se describen los que afectan con mayor frecuencia al DDV de los STD.

5.9.1.1 erosión laminar

Es el proceso inicial de toda erosión producida por la escorrentía superficial, que desprende partículas finas del terreno en delgadas capas, por películas de agua que producen la erosión en dimensiones milimétricas sin surcos o canales visibles fácilmente.

5.9.1.2 erosión en surcos

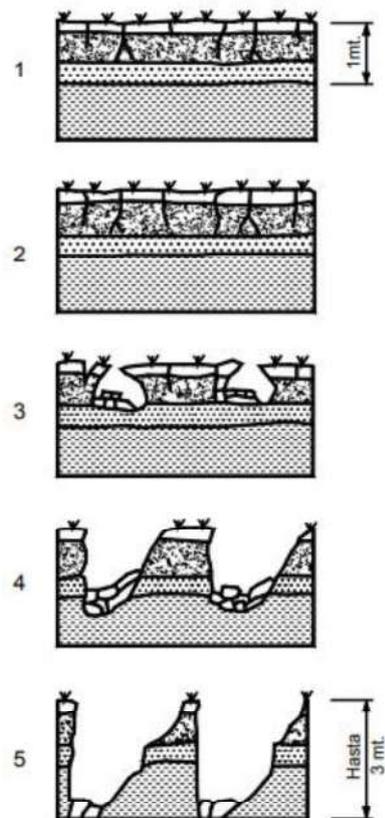
Es un proceso en el que la erosión se da en pequeños canales que si tienen “profundidades de menos de 30 centímetros se les clasifica como surcos” (Suarez, 2001)

5.9.1.3 erosión en cárcavas

Es un proceso de erosión que se produce al juntarse dos o más surcos, aumentando así su capacidad de transporte, son de profundidades superiores a los 30 cm

En la figura 16, se puede observar el proceso de formación de los surcos y cárcavas, tomando en cuenta que como proceso inicial se da la erosión laminar, lo cual es casi imperceptible con la vista, los cuales fueron descritos anteriormente.

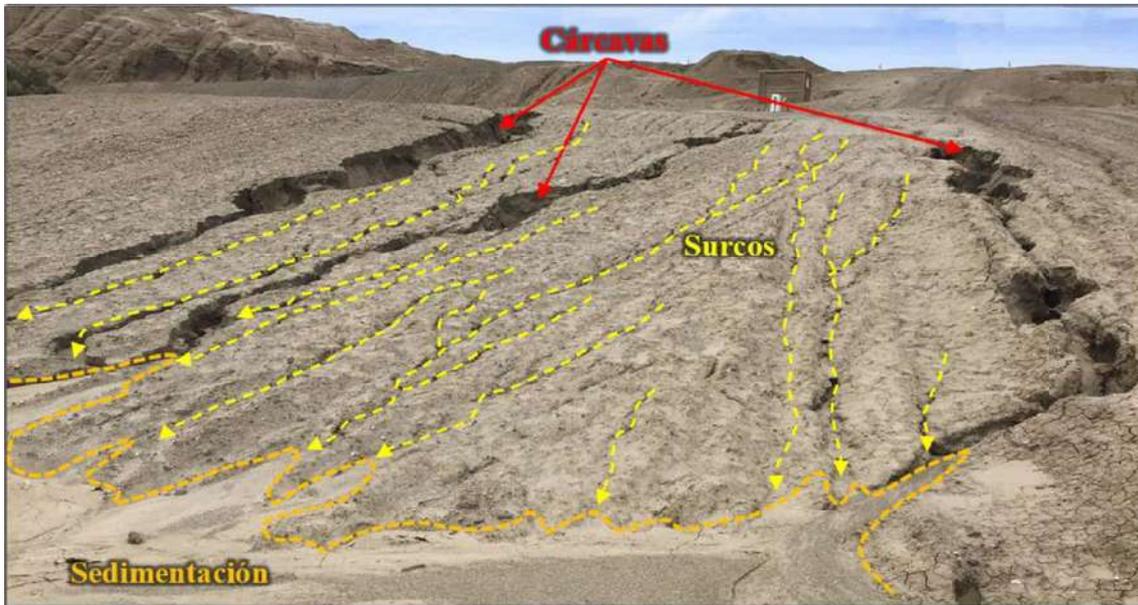
Figura 16: Proceso de formación de surcos y cárcavas



Fuente: Suarez, 2001

En la siguiente figura 17, podemos apreciar el DDV de un STD del Perú, el cual recorre en una región de clima cálido seco, donde las lluvias estacionales extensas generaron una escorrentía superficial de gran potencial de erosión, provocando la formación de surcos y cárcavas.

Figura 17: Procesos de erosión en cárcavas y surcos



Fuente: Base de datos Osinerghin

En la siguiente imagen podemos apreciar la profundidad a la que pueden llegar las cárcavas si no se toman acciones inmediatamente, para su mitigación.

Figura 18: Cárcavas en DDV



Fuente: Presentación Geotecnia – Osinerghin

5.9.2 Geoamenazas geotécnicas

Como se describió anteriormente, comprender la interacción entre la litología de las formaciones geológicas, geomorfología e hidrología es crucial para identificar las geoamenazas geotécnicas a las que están expuestos los STD.

Algunas de las principales geoamenazas geotécnicas se describen a continuación:

5.9.2.1 Deslizamientos (landslides)

El geólogo canadiense Varnes en el año 1978, define a los deslizamientos como “movimientos en masa que involucran un bloque de tierra o roca que se desplaza sobre una superficie de falla”, estos movimientos ocurren en los cambios de pendientes en la superficie terrestre.

Este tipo de geoamenazas ocurre principalmente por fenómenos de inestabilidad provocados por la interacción de procesos erosivos que provocan la evolución continua del contexto geológico (denudación) y los agentes desencadenantes de estos, como las precipitaciones pluviales.

A continuación, se muestra la clasificación más aceptada de los deslizamientos:

Figura 19: Deslizamiento rotacional y traslacional

	
Deslizamiento rotacional: Se caracteriza por presentar un escarpe principal semicircular, moviéndose sobre una superficie curva y cóncava.	Deslizamiento traslacional: se produce a lo largo de una superficie plana u ondulada, por lo general son más superficiales que los rotacionales.
<i>Fuente: Fotografía extraída de Base de datos UTDGN</i>	<i>Fuente: COGA (2014). Extraído de Guía Monitoreo e inspección en la gestión de integridad de ductos frente a las geoamenazas, Arpel, 2016.</i>

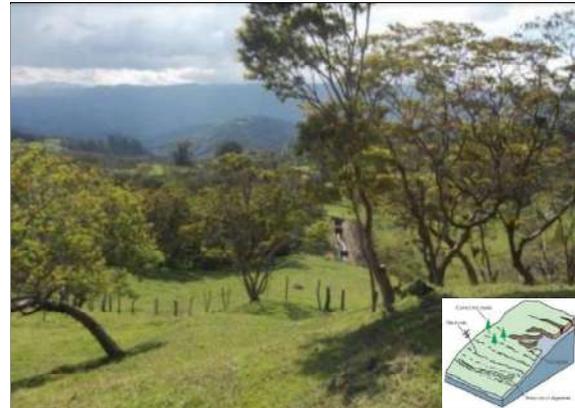
Estos tipos de movimientos en masa pueden generar deformaciones importantes como levantamientos, torciones y en situaciones más críticas pueden dar lugar a fallas mecánicas en los ductos (rotura).

5.9.2.2 Reptación (Creep)

Son movimientos en masa muy lentos con superficies de falla no definidos pudiendo ocurrir a centímetros de la superficie o extenderse a profundidades métricas, que por lo general afectan regiones con climas lluviosos en largos periodos de tiempo produciendo la expansión de suelos arcillosos en el subsuelo.

Algunos indicadores a tener en cuenta para su reconocimiento en campo son por lo general la inclinación de árboles y estructuras instaladas, abombamientos del terreno por el exceso de agua y otros.

Figura 20: Reptación



Fuente: ECOPETROL (2014). Extraído de Guía Monitoreo e inspección en la gestión de integridad de ductos frente a las geoamenazas, Arpel, 2016.

Este tipo de geoamenazas pueden causar deformaciones a los ductos como levantamientos que, si no son identificados a tiempo pueden fisurar o agrietar los ductos.

5.9.2.3 Flujos

Son movimientos en masa sin una superficie de desplazamiento definida producido principalmente por la saturación de los suelos o rocas.

Existen distintas clasificaciones de los flujos de acuerdo al material transportado, a su velocidad, viscosidad y otros, la clasificación más utilizada la hace Varnes en 1978, quien clasificó los flujos en: flujos de tierra, flujos de detritos, flujos de lodo y avalanchas, así mismo, García-López en el año 2000 consideran a los lahares como flujos.

Figura 21: Clasificación de flujos



Flujos de tierra (Earthflow): Son materiales provenientes de suelos o roca meteorizadas con un porcentaje de finos superiores al 50%,

Fuente: COGA (2014). Extraído de Guía Monitoreo e inspección en la gestión de integridad de ductos frente a las geoamenazas, Arpel, 2016.

Flujo de detritos (Debrisflow): están compuestos por materiales gruesos con un porcentaje de finos menor al 50%

Fuente: Fotografía extraída de Base de datos UTDGN

	
<p>Avalanchas (Debris avalanche): compuestos por suelos, rocas y otros (troncos, etc.) están relacionados a lluvias excepcionalmente altos, deshielos y otros.</p>	<p>Flujos de lodo (Mudflow): Compuesto principalmente por materiales finos suspendidos en agua, provocados por lluvias de grandes periodos o intensos.</p>
<p><i>Fuente: EP PETROECUADOR (2014). Extraído de Guía Monitoreo e inspección en la gestión de integridad de ductos frente a las geoamenazas, Arpel, 2016.</i></p>	<p><i>Fuente: Fotografía extraída de Base de datos UTDGN</i></p>

Estos flujos pueden afectar la integridad de los ductos provocando en un primer tiempo su exposición y en un segundo tiempo puede causar abolladuras, torciones, grietas, fisuras, roturas y otros si no se toman acciones de prevención.

5.9.2.4 Caída de rocas (Rockfall)

Las caídas de rocas son movimientos donde parte de una roca se desprende de un talud, que, dependiendo de la posición del ducto generará afectaciones a su integridad, por ejemplo, si se encuentra en la parte inferior del talud se generarán sobrecargas, abolladuras, aplastamientos entre otros y si se encuentra en la parte superior del talud entre lo más crítico puede generar su exposición o suspensión.

Figura 22: Caída de rocas



De aquí parte la importancia de conocer el comportamiento de los macizos rocosos por diferentes métodos como el Sistema Rock Mass Rating (RMR) para tomar medidas de prevención.

5.9.3 Geoamenazas hidrotécnicas

El comportamiento geohidrológico que se relaciona con los sistemas de ductos de gas natural en el Perú es complejo, cruzando el DDV por varios ríos y quebradas de distintas cuencas, en donde es expuesto a la influencia de los cuerpos de agua con características hidrológicas diferentes y a sus efectos de transporte y sedimentación de partículas de los cauces y terrenos por donde discurren.

A continuación, se describen algunas de las amenazas hidrotécnicas más importantes:

5.9.3.1 Socavación

La socavación es la erosión netamente hídrica donde se produce la profundización del fondo de cauce mediante el levantamiento y transporte de los sedimentos que la componen, lo cual es potenciado por el aumento de caudal de un curso de agua.

Figura 23: Socavación

<p>Exposición de un ducto debido a la socavación producida por el paso de un río.</p>	<p>Sección típica del cruce de un Ducto con un cuerpo de agua, el cual socaba gradualmente.</p>
<p>Fuente: Curso de extensión – Osinergmin</p>	<p>Fuente: Curso de extensión – Osinergmin - Modificado</p>

5.9.3.2 Avulsión y rectificación de meandros

Son procesos de abandono de una parte o la totalidad del cauce de un río en forma brusca, en general de ríos en meandros que se forman en lugares donde existe un bajo gradiente de la pendiente.

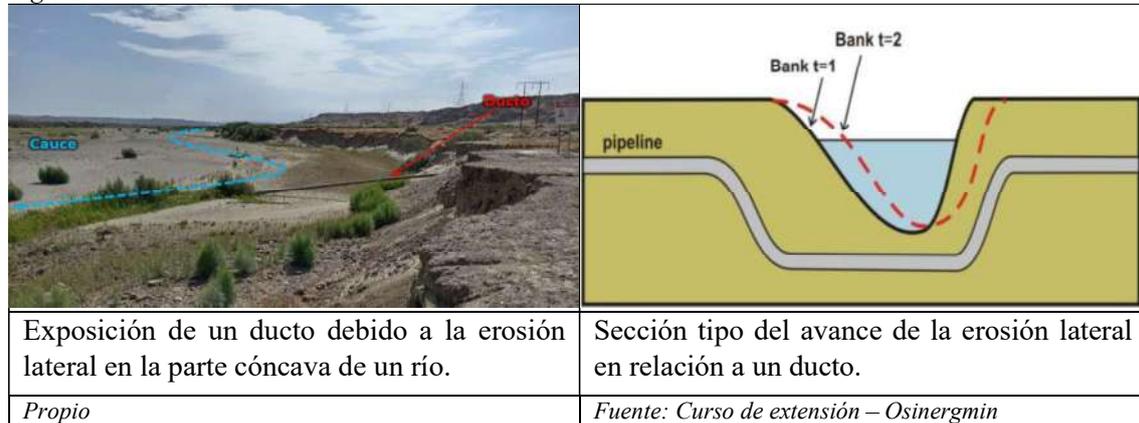
Figura 24: Avulsión y rectificación de meandros

<p>Vista de un río en meandro donde se añade una línea (marrón) que sugiere como podría haber surgido su formación.</p>	<p>Cambio de canal de un cuerpo de agua por avulsión, ocasionando un nuevo cauce que puede provocar la exposición del ducto.</p>
<p>Fuente: Google Earth – Modificado</p>	<p>Fuente: Curso de extensión – Osinergmin - Modificado</p>

5.9.3.3 Erosión lateral

Se entiende como erosión lateral a la provocada por un curso de agua perpendicular o semi perpendicular a un ducto, dicho curso de agua a su paso provoca el transporte de los sedimentos en las partes cóncavas donde se genera la exposición de ductos, incrementando su riesgo a sufrir abolladuras, fisuras y otros.

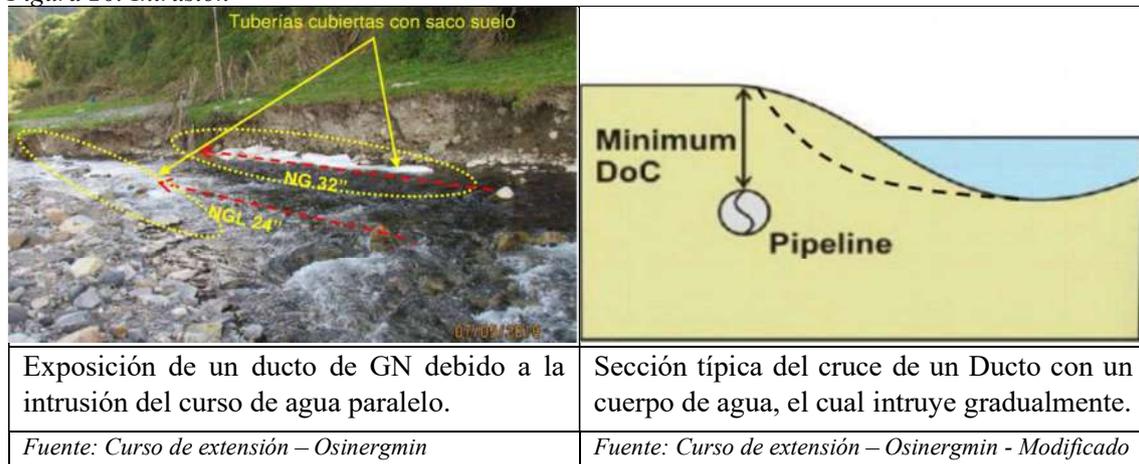
Figura 25: Erosión lateral



5.9.3.4 Intrusión (Encroachment)

Una intrusión ocurre cuando un ducto perteneciente a un sistema de transporte recorre en paralelo a un curso de agua, el cual erosiona la parte lateral del cauce provocando la pérdida de cobertura y exposición del ducto

Figura 26: Intrusión



CAPITULO VI: GEOTECNIA DE DUCTOS

La geología una vez aplicada a la ingeniería de Ductos es denominada como Geotecnia de Ductos, la cual desempeña un papel importante, siendo considerada desde la fase inicial de formulación del proyecto de ingeniería básica hasta la elaboración del proyecto de construcción definitivo, debido a que tendrá un gran efecto en el coste final en la puesta en marcha del sistema de transporte por ductos.

Así mismo la influencia de la geotecnia se extiende a la fase de operación de dicho Sistema de Transporte por Ductos, el cual, con su aplicación, asegura su integridad y buen funcionamiento desde dos puntos de vista fundamentales, la estabilidad del Derecho De Vía y el control de erosión.

Figura 27: Obras geotécnicas en DDV y alrededores



Fuente: Introducción a la geotecnia de ductos – Compañía Operadora de Gas Natural

6.1 Estabilidad del DDV y Control de la erosión

Para lograr mantener el Derecho de Vía (DDV) estable y mantener la integridad del ducto se implementa distintas técnicas que actúan sobre el terreno logrando reducir el riesgo y prevenir los estragos de un desastre natural originado por el clima o fuerzas externas.

6.1.1 Cortacorrientes

Son estructuras transversales al talud del DDV o se pueden encontrar en los taludes superiores o inferiores, normalmente se encuentran protegidos con sacos de suelo-cemento, instalados para el control de la escorrentía superficial y evitar la formación de surcos o cárcavas que inestabilicen el DDV.

Figura 28: Cortacorrientes

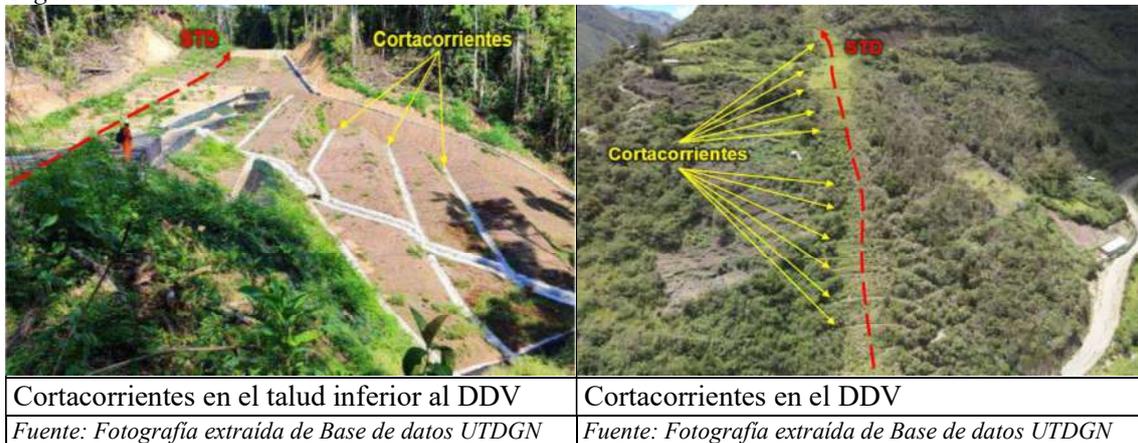
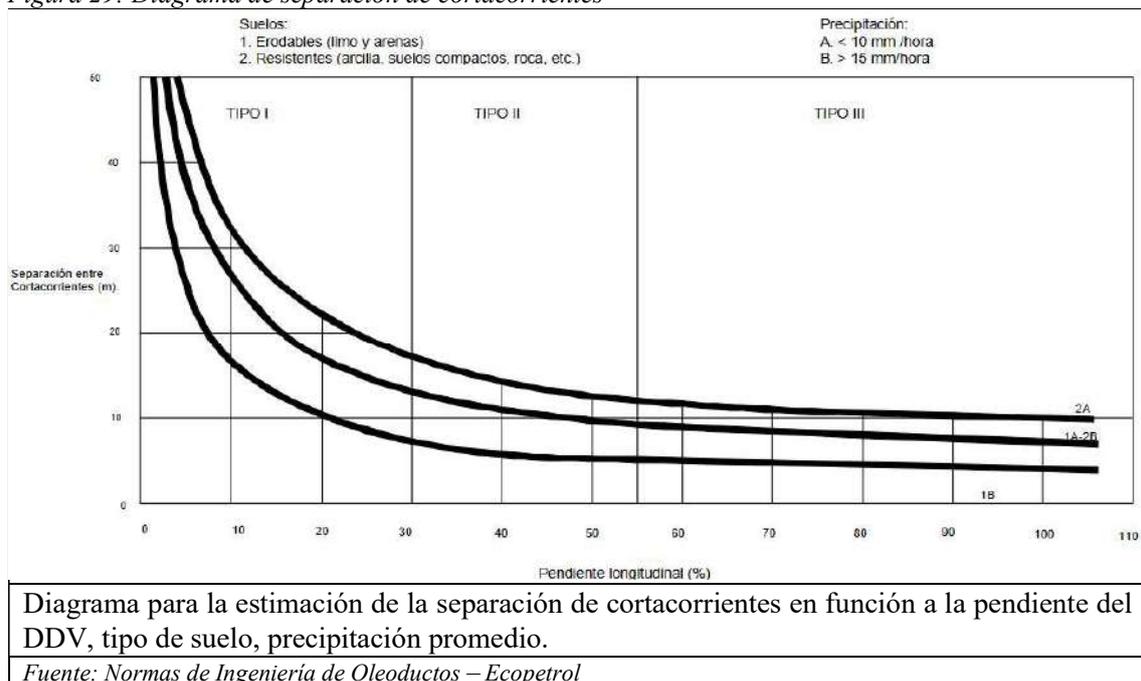


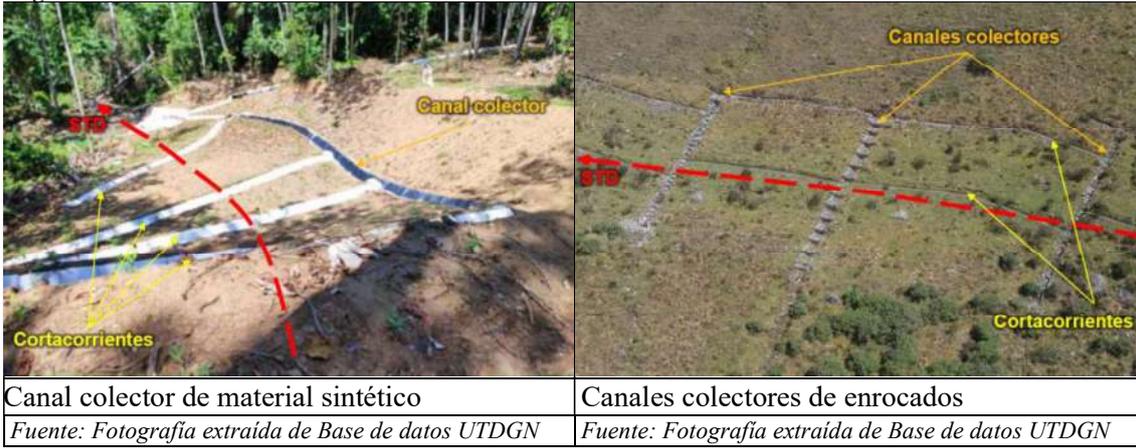
Figura 29: Diagrama de separación de cortacorrientes



6.1.2 Canales colectores

Son estructuras longitudinales al talud del DDV, recolecta el agua retenida por los cortacorrientes para llevarlos a cauces de cursos de agua naturales o lejanos, estas estructuras pueden ser de mampostería, sacos de suelo-cemento, enrocados, hormigón y otros, los cuales pueden contar con disipadores de energía para reducir el potencial de erosión hídrica.

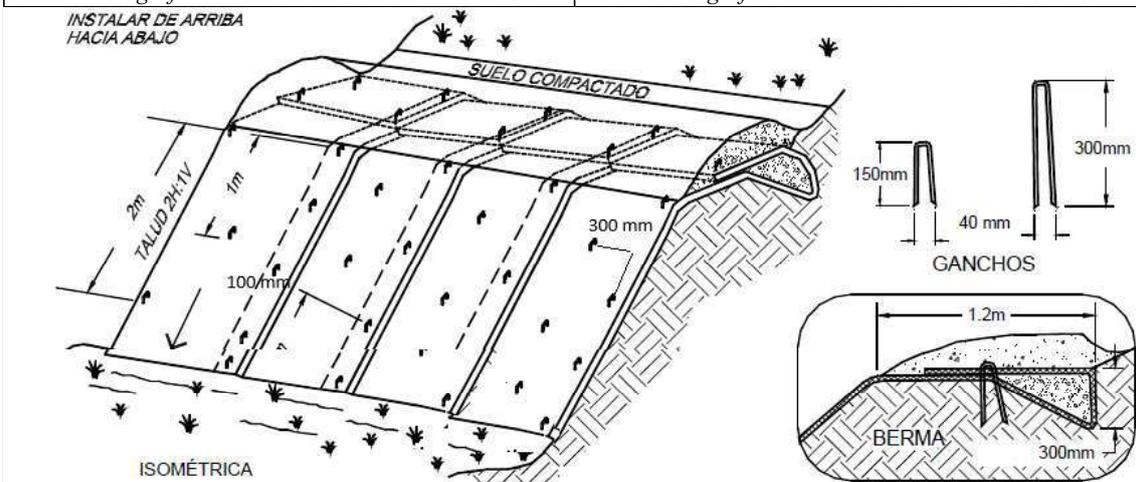
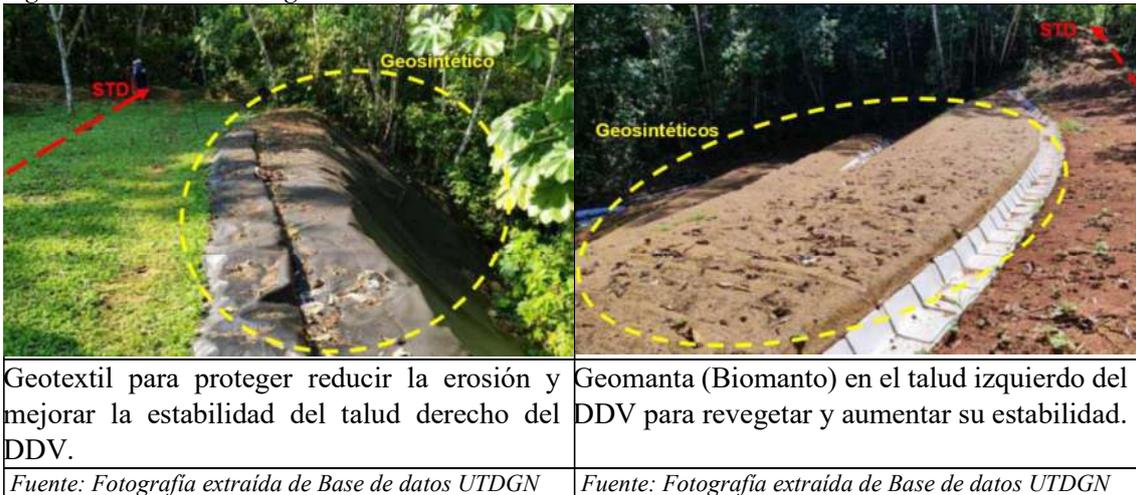
Figura 30: Canales colectores



6.1.3 Geosintéticos

Son polímeros de diversos tipos, fabricados de acuerdo a su funcionamiento como geomantas para revegetar, geomembranas para impermeabilizar, geotextiles para reforzar el terreno, dichas aplicaciones son solo algunas.

Figura 31: Instalación de geosintéticos



Proceso de instalación de geotextiles para revegetación y control de erosión
Fuente: Modificado de McCullah, 1996 – Extraído de Control de Erosión en Zonas Tropicales, Suárez, 2001.

6.1.4 Trinchos

Son estacas que pueden ser metálicas o estacas vivas (tallo, ramas), pudiendo ser de 2 a 3 pulgadas de diámetro, ambos funcionan como un sistema de contención vertical generalmente de madera, del transporte de sedimentos y reducir la erosión.

Figura 32: Instalación de Trinchos

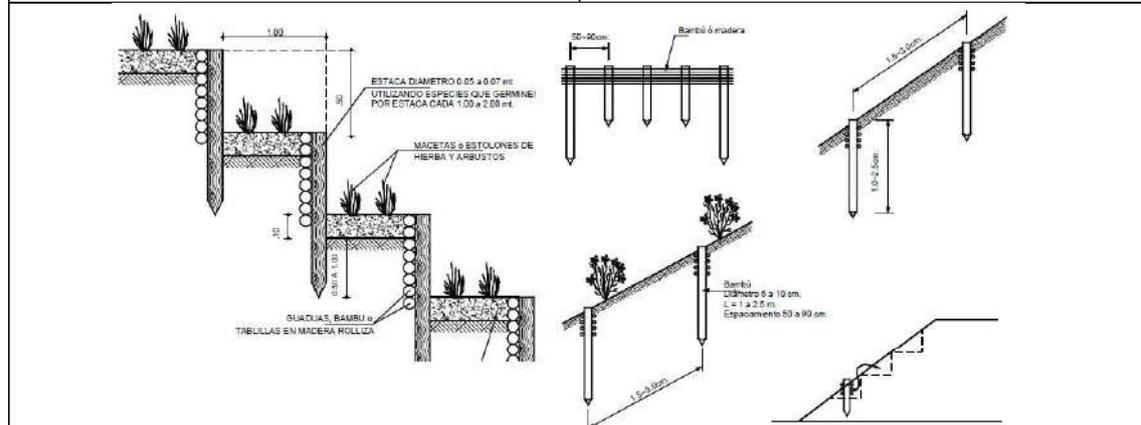


Trinchos de estacas vivas y barreras de madera longitudinal para la retención de sedimentos.

Trinchos metálicos y barrera de madera cubierta por geosintético.

Fuente: Fotografía extraída de Base de datos UTDGN

Fuente: Fotografía extraída de Base de datos UTDGN



Vista del diseño de trinchos para la estabilidad del DDV y control de erosión

Fuente: Suárez, 2001. Control de Erosión en Zonas Tropicales

6.1.5 Pilotes y micropilotes

Son estructuras de cimentación profunda que pueden ser individuales o funcionar en conjunto (arriostrados), son instalados hasta una profundidad donde el terreno no experimente cambios de volumen y queden anclados correctamente.

Figura 33: Pilotes y micropilotes



Micropilotes arriostrados

Pantalla de micropilotes y gaviones.

Fuente: Fotografía extraída de Base de datos UTDGN

6.1.6 Sistema de contención ErdoX

Es un sistema de contención de rápida instalación y efecto inmediato que consiste en dos vigas de acero unidas en cruz conectadas a un tirante rígido que se une a un anclaje.

Figura 34: Sistema de contención ErdoX

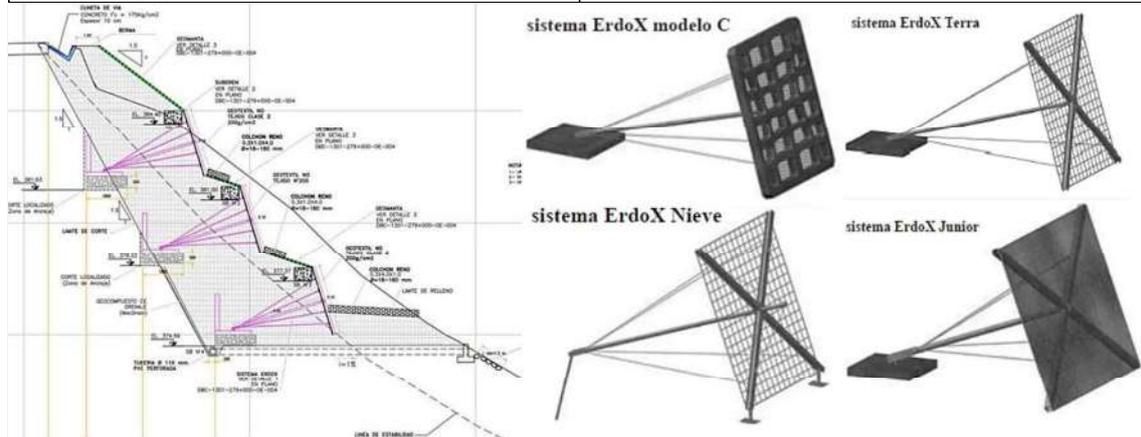


Sistema de contención ErdoX para la estabilidad del talud izquierdo del DDV

Sistema ErdoX para la estabilización del cruce del DDV con un curso de agua.

Fuente: Fotografía extraída de Base de datos UTDGN

Fuente: Fotografía extraída de Base de datos UTDGN



Vista del diseño de instalación del sistema ErdoX y sus tipos

Fuente: Modificado de: Urteaga, 2017, Estabilización De Talud Con Sistema ErdoX En Taludes De Carreteras

6.1.7 Gaviones

Son un sistema de contención que consisten en estructuras de alambres o mallas por lo general en forma de paralelepípedo rellenos de rocas, suelo o sacos de suelo-cemento.

Figura 35: Gaviones



Gaviones para la estabilización del talud del DDV en un cruce con carretera

Gaviones para la estabilización y control de erosión en el cruce del DDV con quebrada.

Fuente: Fotografía extraída de Base de datos UTDGN

6.1.8 Colchonetas

Son un tipo de unidad de gavión de mayor ancho y menor altura, usados generalmente para la protección mecánica de canales de cuerpos de agua reduciendo y/o mitigando su potencial de erosión (socavación).

Figura 36: Colchonetas



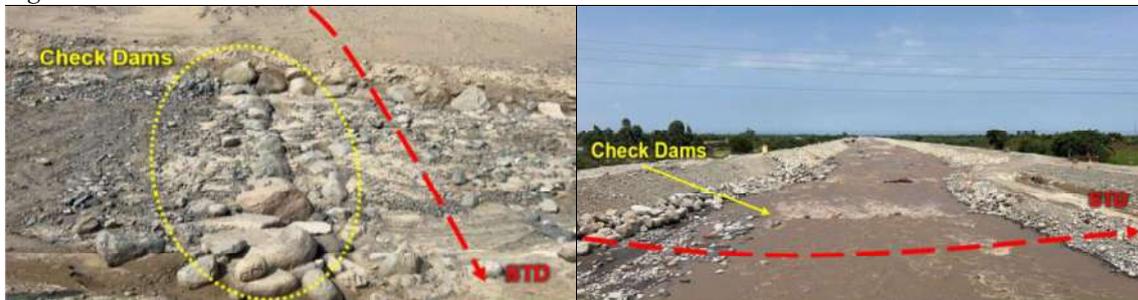
Colchonetas instaladas para el control de la erosión hídrica

Fuente: Fotografía extraída de Base de datos UTDGN

6.1.9 Check Dams

Son estructuras tipo presa transversal a un canal, tienen la función de reducir la velocidad de los flujos de corrientes de agua promoviendo la sedimentación por detrás de las presas y reduciendo la erosión hídrica, en este caso socavación.

Figura 37: Check Dams

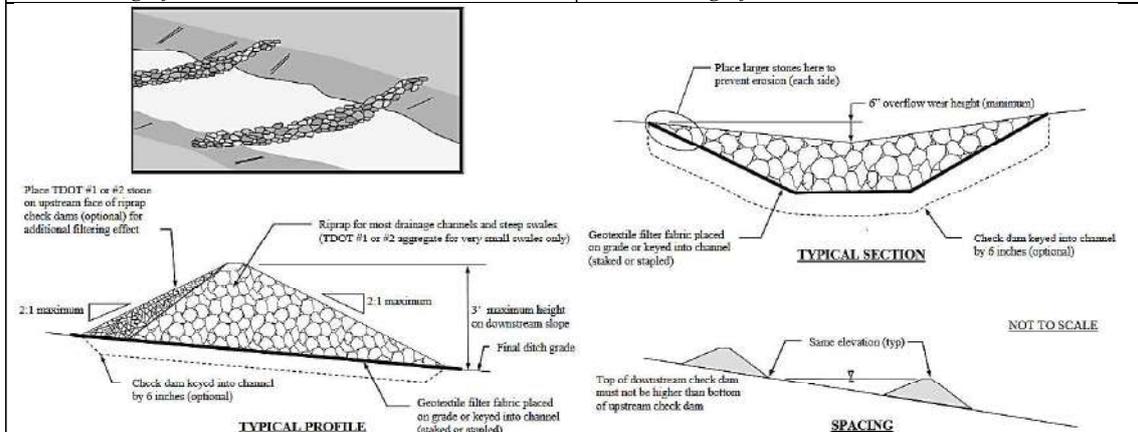


Vista de un Check Dams en un canal seco

Vista de funcionamiento del Check Dams

Fuente: Fotografía extraída de Base de datos UTDGN

Fuente: Fotografía extraída de Base de datos UTDGN



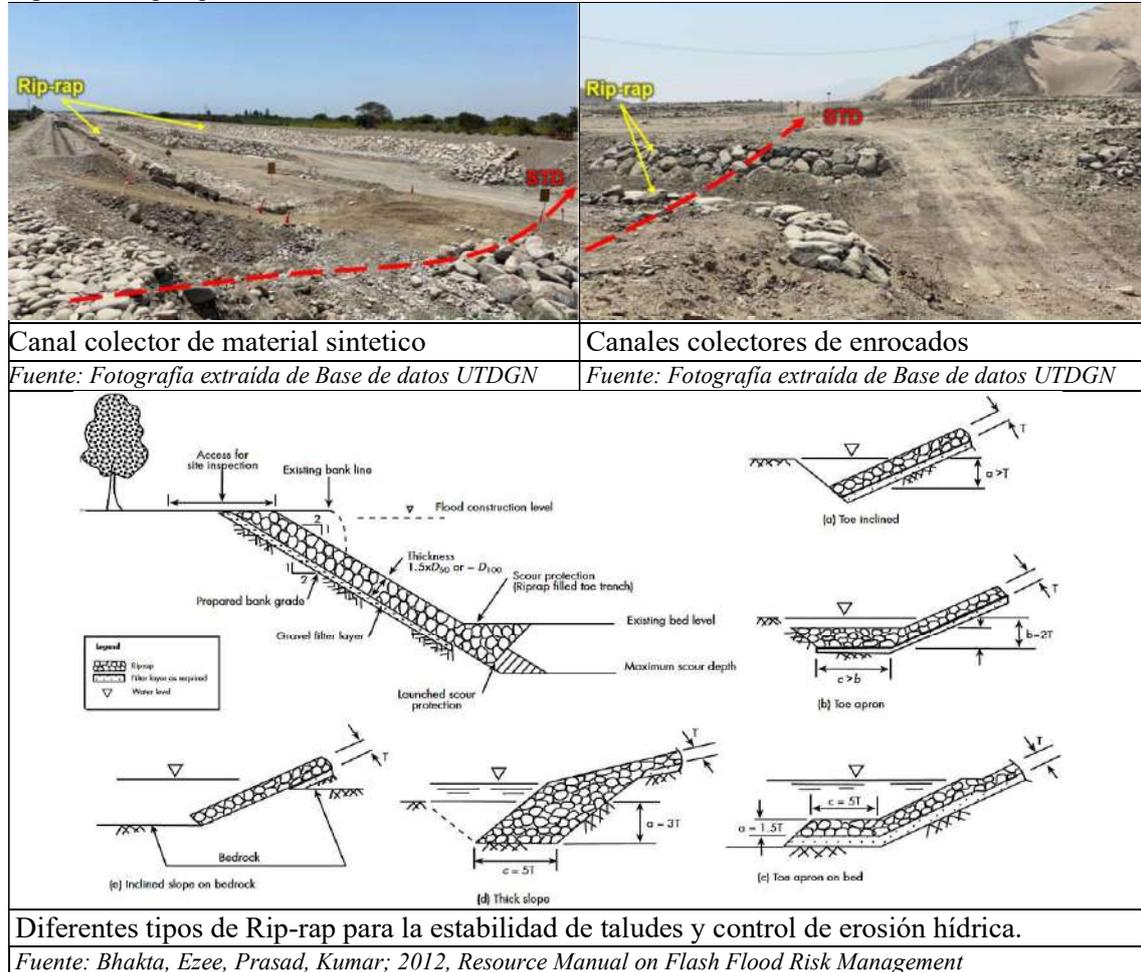
Vistas del diseño típico de Check Dams

Fuente: City of Knoxville; 2014, Best Management Practice (BMP) Manual

6.1.10 Rip rap

Es una estructura de protección que mejora la estabilidad de los taludes, aumenta el potencial de infiltración y reduce la erosión por escorrentía superficial.

Figura 38: Rip-rap



6.2 Monitoreo geotécnico

El monitoreo geotécnico es indispensable para garantizar la vida útil de las obras de geotecnia, así como también para contar con métodos para predecir y alertar eventos geotécnicos que puedan afectar la integridad de los STD.

El patrullaje *in situ* puede ser considerado como monitoreo geotécnico toda vez que se realicen con un periodo establecido y un detalle adecuado para reconocer riesgos para la integridad de los ductos, en este caso, características del inicio de eventos geotécnicos como los descritos en el capítulo V de la presente tesis y otras circunstancias que puedan afectar el equilibrio geotécnico del DDV.

El monitoreo topográfico, también es importante, para el reconocimiento de desplazamiento de los ductos y prevenir deformaciones.

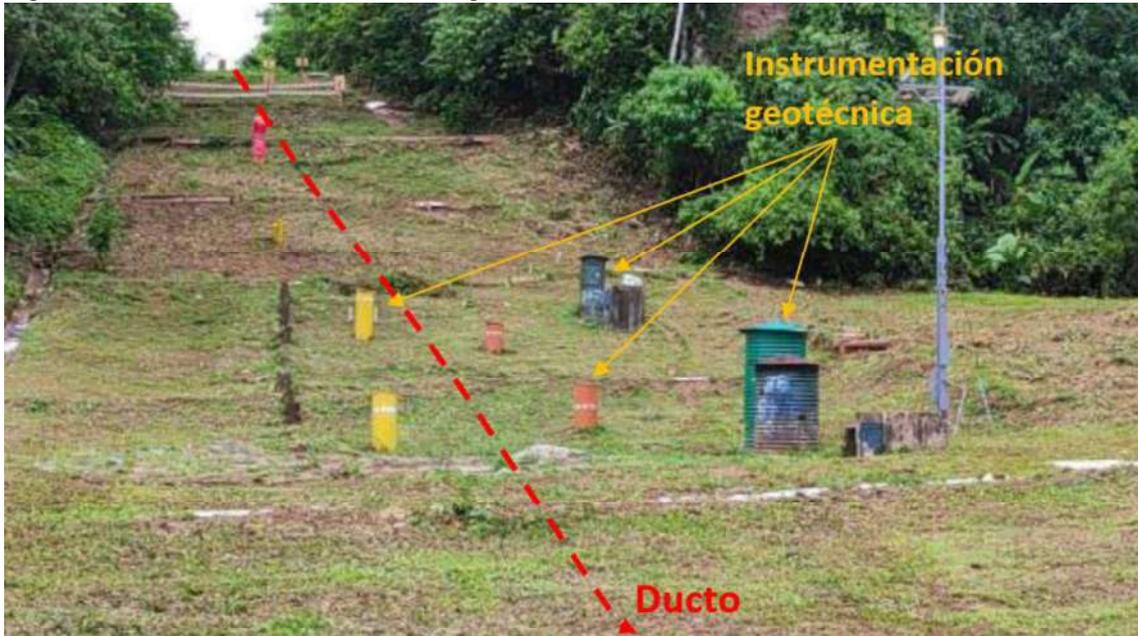
Así mismo, para el monitoreo geotécnico se pueden implementar distintas instrumentaciones geotécnicas, como se describe a continuación.

6.2.1 Instrumentación geotécnica

Consiste esencialmente en la instalación de equipos tecnológicos con sensores que miden distintas variables como presión, temperatura, tensiones, deformación y otros, de forma automatizada para conocer su evolución en el tiempo.

En el DDV son de uso más frecuente son, entre otros, los siguientes:

Figura 39: Instalación de instrumentación geotécnica

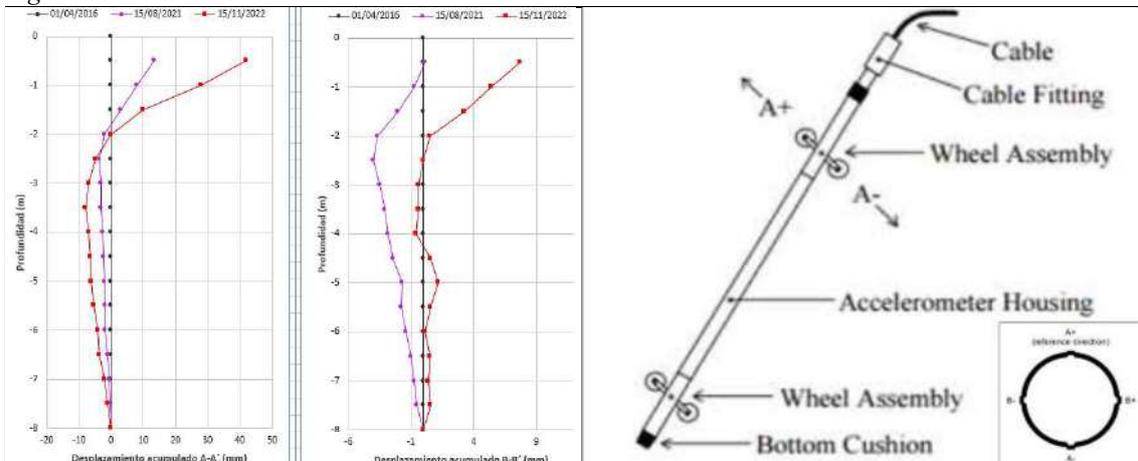


Fuente: Base de datos – Osinergmin

6.2.1.1 Inclinómetro

Son instrumentos instalados en forma vertical en el DDV o cercana a una zona de interés, que mide deformaciones verticales en dos direcciones A-A” (hacia el talud) y a 90° la dirección B-B” (ortogonal al talud).

Figura 40: Inclinómetro



Vista del análisis del desplazamiento en función de la profundidad obtenida por inclinómetro

Fuente: Base de datos UTDGN

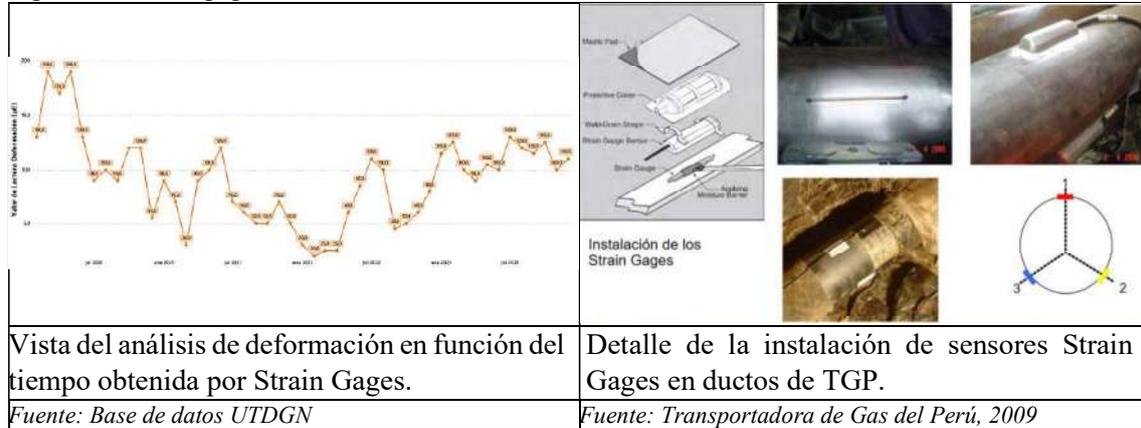
Detalle de un inclinómetro y direcciones de medición A-A” y B-B”.

Fuente: Yara C. y Torres J. 2018

6.2.1.2 Strain Gages

Son sensores instalados sobre los ductos con el fin de medir deformaciones mostrando valores positivos con la tensión y valores negativos con la compresión

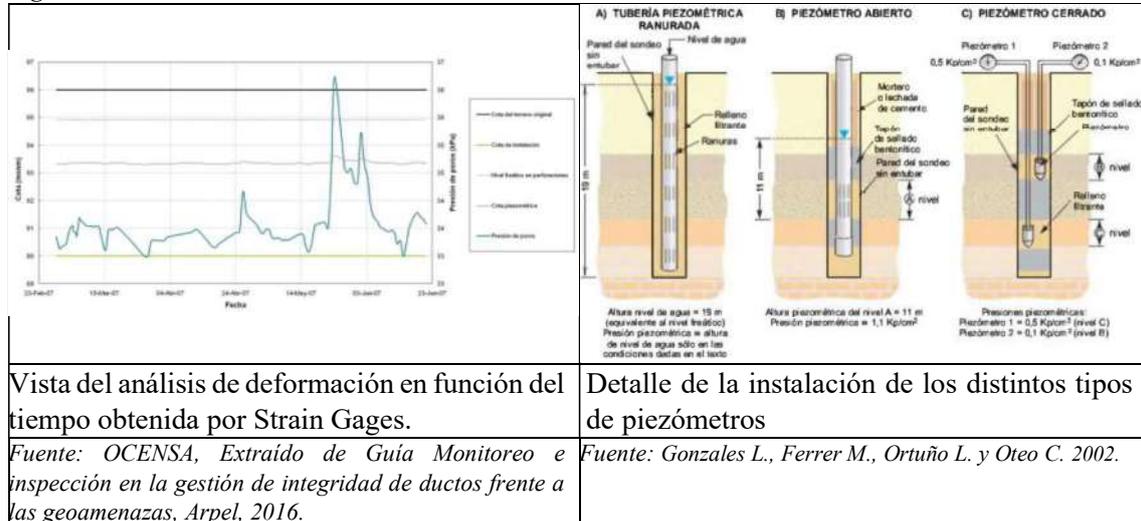
Figura 41: Strain gages



6.2.1.3 Piezómetro

Es una instrumentación utilizada fundamentalmente para medir la presión de poros del suelo que es un indicador para el análisis e interpretación de la estabilidad y movimiento de terreno esperado, así como también para medir el nivel freático

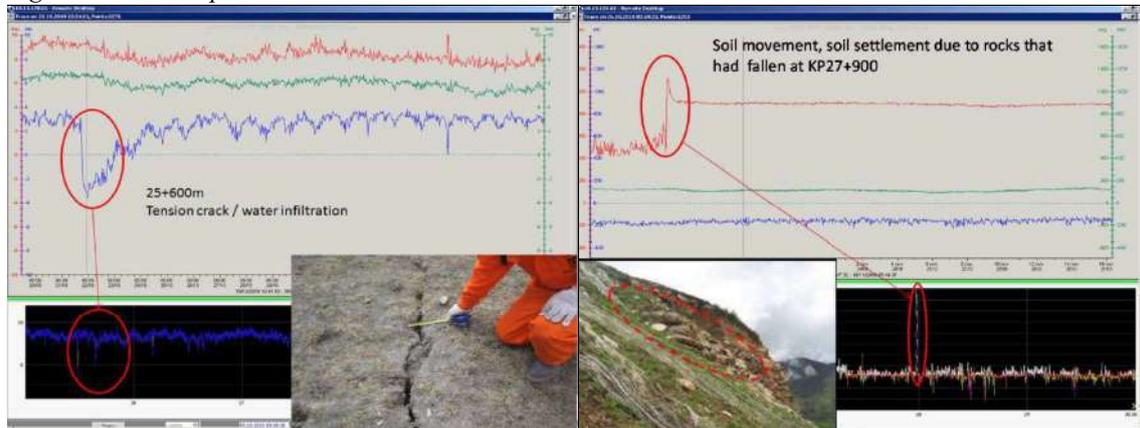
Figura 42: Piezómetro



6.2.1.4 Fibra óptica

Es una instrumentación geotécnica que se instala a lo largo del recorrido de los ductos y tiene la capacidad de medir parámetros de temperatura, “La fibra no solamente se utiliza como medio de comunicación sino también como sensor que permite mediciones distribuidas de temperatura, vibración y esfuerzo” (Ravet F., 2016).

Figura 43: Fibra óptica



Evento de cambio de temperatura identificado por fibra óptica, confirmado en campo al identificar una grieta donde se filtró agua.

Evento de cambio brusco de parámetros que permitieron la identificación de un movimiento en masa, confirmado en campo.

Fuente: Ravet F., 2016



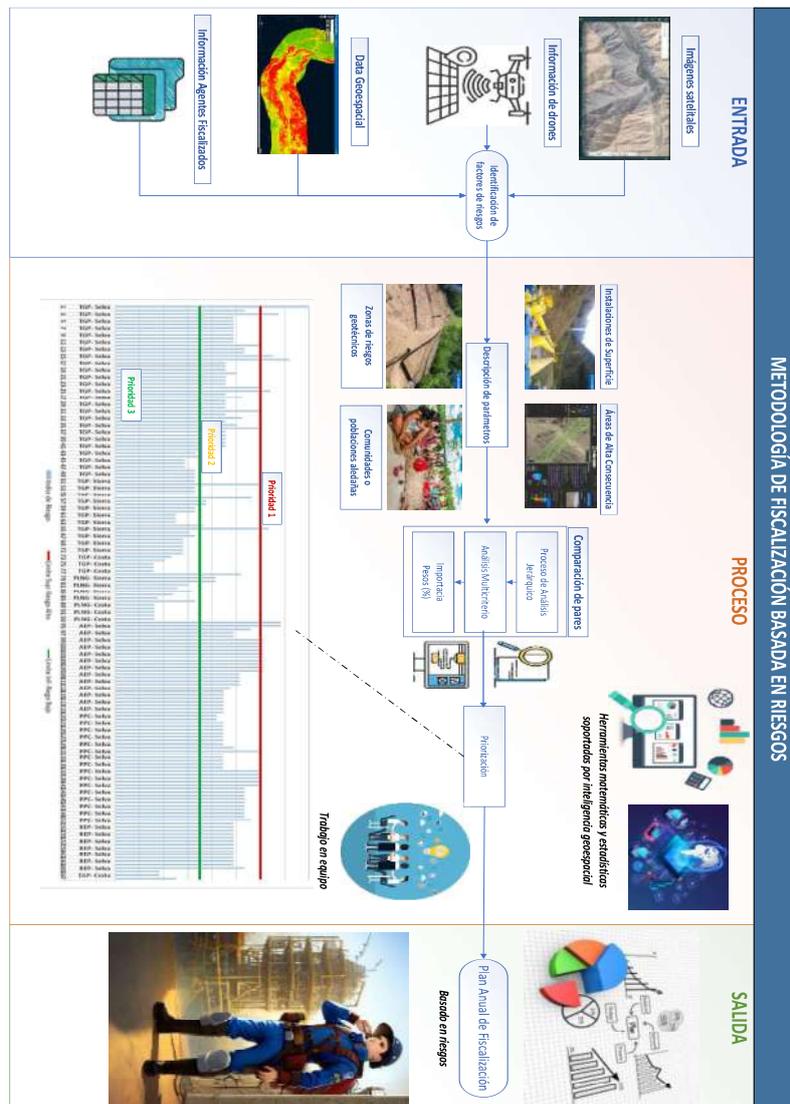
CAPITULO VII: METODOLOGÍA DE FISCALIZACIÓN BASADA EN RIESGOS (MFBR)

Esta metodología toma diferentes parámetros geotécnicos que influyen directamente en mantener la integridad del STD desde el punto de vista de un ente fiscalizador.

Con la aplicación de esta metodología se busca prevenir eventos geotécnicos que puedan generar roturas, fisuras entre otras consecuencias que afecten el correcto funcionamiento de los STD, mediante la fiscalización del cumplimiento de estándares internacionales y normativa técnica peruana.

Así mismo, con la actualización constante de esta metodología mediante el reconocimiento de las geoamenazas presentes en el DDV permite potenciar la eficiencia en las acciones de fiscalización y/o supervisión de STD, reduciendo costos, tiempo empleado y garantizando la seguridad de los trabajadores, supervisores, medio ambiente e infraestructuras.

Figura 44: Diagrama de metodología de fiscalización basada en riesgos



Fuente: Osinergmin – UTDGN

7.1 Parámetros Geotécnicos

Mediante la verificación *in situ* de la geología/geotecnia del DDV de los Sistemas de Transporte por Ductos de Gas Natural en el Perú se identificó en el análisis de toda la información recabada, 05 parámetros geotécnicos que tienen influencia directa con la integridad de ductos, los cuales se listan a continuación:

- Clima (Lluvia)
- Fuerzas Externas
- Pendientes del terreno
- Estudios Geológicos/Geotécnicos
- Monitoreo Geotécnico

Dichos parámetros son de naturaleza cuantitativa (Pendientes) y cualitativos (Clima, Fuerzas externas, Estudios Geológicos/Geotécnicos y Monitoreo Geotécnico), es esta la razón por la que se opta por el análisis multicriterio propuesta por Saaty ya que permite relacionar estos parámetros cuantitativos y cualitativos mediante un proceso de comparación de pares, a continuación, se describen los parámetros geotécnicos considerados:

7.1.1 Parámetro geotécnico: Clima (lluvia)

El Perú se encuentra al sur de la línea ecuatorial comprendiendo por lo general un clima tropical, sin embargo, Un estudio realizado por el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI, 2021) indica que, por distintos controladores meteorológicos, el Perú cuenta con treinta y ocho (38) tipos de climas a nivel nacional.

De todos los climas obtenidos por SENAMHI, se seleccionó solo aquellos que cruzaban con nuestra zona de estudio calculado a partir de la traza del ducto, además, fueron agrupados de acuerdo a las regiones naturales descritas por Javier Pulgar Vidal en el año 2014.

Figura 45: Las ocho regiones naturales del Perú



Fuente: Recuperado de: https://images.twinkl.co.uk/tw1n/image/private/t_630_eco/image_repo/5c/a5/sa-cn-1694881463-afiche-mapa-de-las-8-regiones-naturales-del-peru_ver_3.avif



Tabla 08: Condiciones climáticas de las regiones naturales del Perú

Regiones Naturales del Perú		Descripción
Costa	Chala	Clima árido a desértico con deficiencia de humedad en todas las estaciones del año (Templado)
	Yunga marítima	Clima cálido moderado (Templado), con zonas Áridas con deficiencia de humedad durante todo el año.
Sierra	Puna o Jalca	Clima semiseco a seco con escasa humedad, pero presenta estaciones lluviosas (Frio)
	Janca o Cordillera	Clima glacial, seco a semiseco con algunas estaciones lluviosas y de nevizas (Frio)
	Quechua	Semiseco a Árido con humedad media en todas las estaciones del año (Templado)
	Suni	Clima Semiseco a seco, semiárido, región de inicio de heladas (Frio)
Selva	Yunga Fluvial	Clima cálido moderado (Templado), con zonas semiáridas y otras lluviosas con inviernos secos
	Alta o Rupa-rupa	Clima muy lluvioso con humedad abundante en todas las estaciones del año (Cálido)
	Baja u Omagua	Clima lluvioso con altas temperaturas y humedad abundante en todas las estaciones del año (Cálido)

Nota: Se observa las regiones naturales del Perú relacionadas a los climas identificados por SENAMHI, modificadas de acuerdo a los reportes de la empresa supervisora.

Fuente: SENAMHI, 2021

De acuerdo a estos climas y subdivisiones de las regiones naturales del Perú se agruparon en cinco (5) conjuntos “descriptores” relacionados con un valor o peso establecido por juicio de expertos mediante la interpretación de los climas en el Perú y experiencia profesional, como se presenta a continuación:

Tabla 09: Parámetro geotécnico – Lluvia (Clima)

	D1	D2	D3	D4	D5
	0,10	0,25	0,50	0,75	1,00
Clima (lluvia)	Chala 0 – 500 msnm	Puna 4001 - 4800 msnm	Quechua 2300-3500 msnm	Selva baja u Omagua 80 - 400 msnm	Selva alta o Rupa- rupa 401 - 1000 msnm
	Yunga Marítima 500 - 2300 msnm	Suni 3501 - 4000 msnm	Janca 4801-6768 msnm	Yunga Fluvial 1001–2300 msnm	

Nota: Descriptores ordenados de acuerdo al método de juicio de expertos.

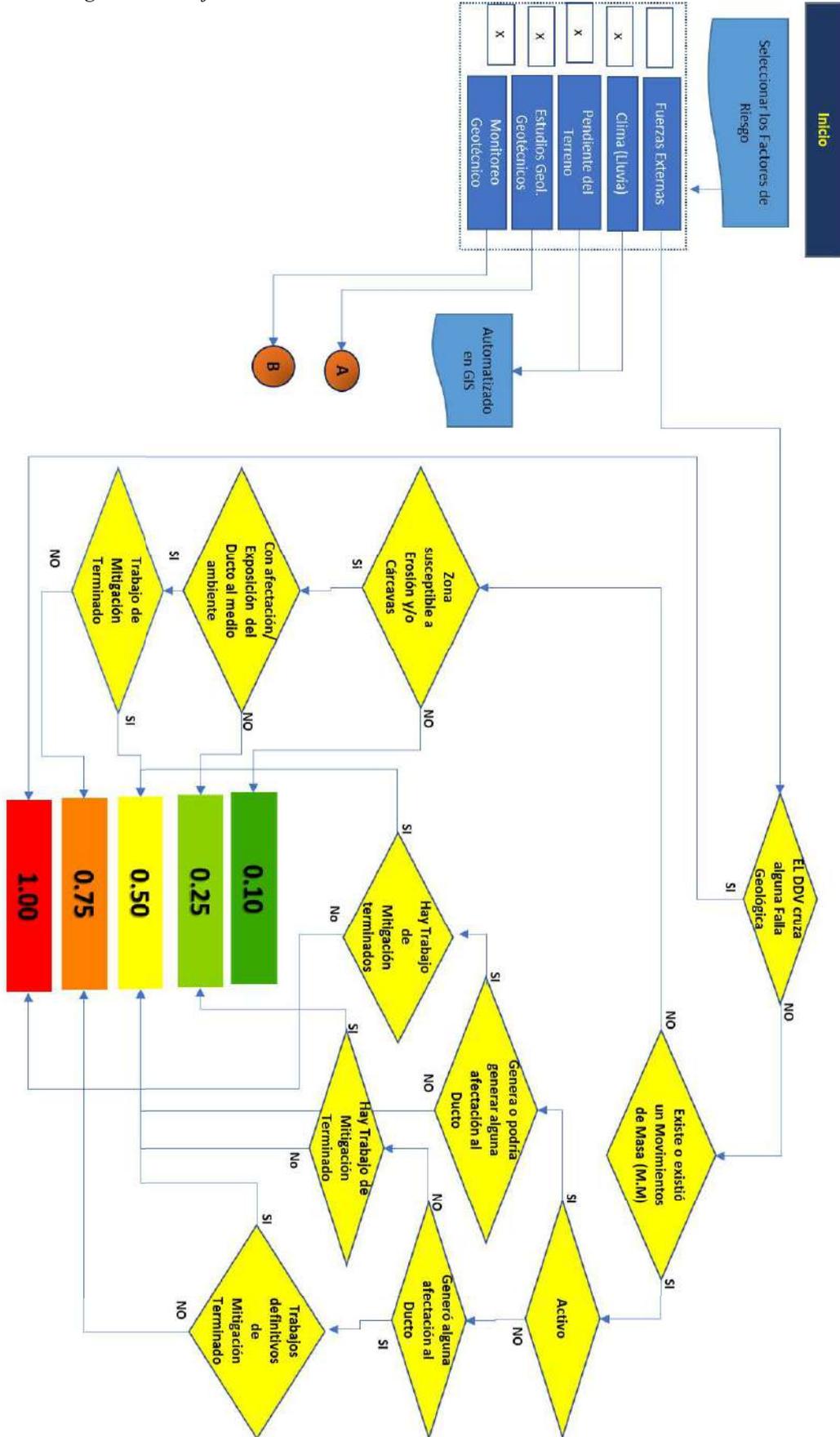
7.1.2 Parámetro Geotécnico: Fuerzas externas

Este parámetro hace referencia a eventos geológicos de fallas, movimientos en masa y procesos de erosión, Así como también considera si estos afectan directamente al ducto y si cuenta con trabajos de mitigación.

El proceso de definición de descriptores para este parámetro se encuentra explicado mediante el siguiente diagrama de flujo, relacionados a su valor o peso correspondiente:



Figura 46: Diagrama de Flujo - Fuerzas Externas



Fuente: Base de Datos – OSINERGMIN - UTDGN



A continuación, se detalla los descriptores que se han tomado en cuenta para evaluar el parámetro de Fuerzas Externas, ordenándolos de acuerdo a los pesos previamente establecidos en el diagrama de flujo de procesos (DFP) anterior:

Tabla 10: Parámetro geotécnico – fuerzas externas (Movimientos en masa)

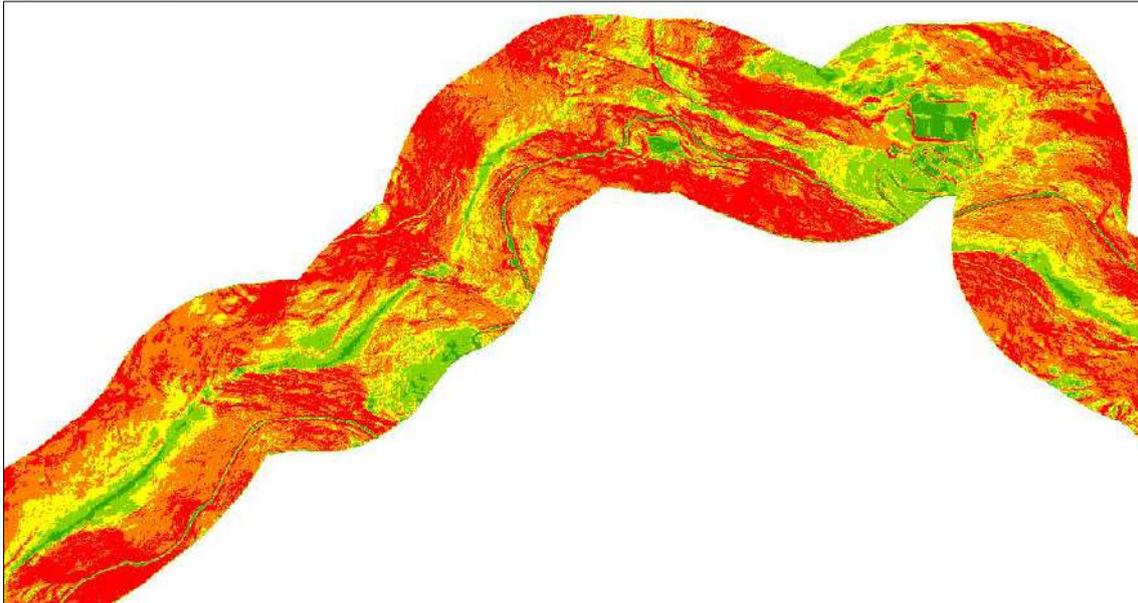
Nota: Descriptores ordenados de acuerdo a su peso definido mediante el análisis por diagrama de flujo de procesos. (*) Posible caso o circunstancia que pueda ocurrir

	D1	D2	D3	D4	D5
	0,10	0,25	0,50	0,75	1,00
Fuerzas Externas existentes (Movimientos en masa)	N. A.	*Existe o existió un Movimientos de Masa (M.M), NO se encuentra ACTIVA, NO generó alguna afectación al Ducto, SI hay Trabajo de Mitigación Terminado	* Si existe o existió un Movimientos de Masa (M.M), actualmente NO ACTIVA, que NO generó alguna afectación al Ducto y SIN TRABAJOS DE MITIGACIÓN Terminado	* Si existe o existió un Movimientos de Masa (M.M), actualmente NO ACTIVA, que SI generó alguna afectación al Ducto y NO hay Trabajo de Mitigación Terminado.	*El DDV cruza una falla geológica
			* Si existe o existió un Movimientos de Masa (M.M), actualmente NO ACTIVA, que SI Genera o podría generar alguna afectación al Ducto y CON TRABAJOS DE MITIGACIÓN terminados.		*El DDV NO cruza una falla geológica, SI Existe o existió un Movimientos de Masa (M.M), actualmente SI ACTIVA, SI genera o podría generar alguna afectación al Ducto y que NO hay trabajos de mitigación.
			* Si existe o existió un Movimientos de Masa (M.M), actualmente SI ACTIVA, que NO Genera o podría generar alguna afectación al Ducto, CON TRABAJOS DE MITIGACIÓN actualmente CONCLUIDOS.		
	* NO Existe o existió un Movimientos de Masa (M.M), No Existe problemas de Erosión por Surcos o Cárcavas	*NO Existe o existió un Movimientos de Masa (M.M), Si Existe problemas de Erosión por Surcos y Cárcavas. NO existe afectación/exposición al ducto enterrado.	N. A.	*NO Existe o existió un Movimientos de Masa (M.M), SI Existe problemas de Erosión por Surcos y Cárcavas, SI presenta afectación/exposición al ducto enterrado.	N. A.

7.1.3 Parámetro Geotécnico: Pendientes del terreno

Las pendientes tienen mucha influencia en la estabilidad y erosión del derecho de vía y toda el área de impacto potencial, por tal motivo tomando los datos obtenidos mediante levantamientos aerofotogramétricos (Modelos Digitales de Elevación) y el uso de software ArcGIS Pro se realiza el cálculo de las pendientes del área de impacto de los Sistemas de Transporte por Ductos de Gas Natural, un ejemplo del resultado se aprecia a continuación:

Figura 47: Geoprocesamiento - Pendientes del terreno



Fuente: Base de Datos – OSINERGMIN - UTDGN

A continuación, se presenta los cinco (05) descriptores considerados, relacionados con un valor o peso establecido por juicio de expertos para su análisis posterior:

Tabla 11: Parámetro geotécnico – Pendiente del terreno

	D1	D2	D3	D4	D5
	0,10	0,25	0,50	0,75	1,00
Pendiente del terreno	Zona con topografía plana a Ligeramente inclinado (Ondulado) 0° - 5°	Pendiente inclinado. 5° - 15°	Pendiente inclinado. 15° - 22°	Muy pronunciada o Escarpado. 22° - 32°.	Pendiente muy pronunciada o escarpado o > 32°

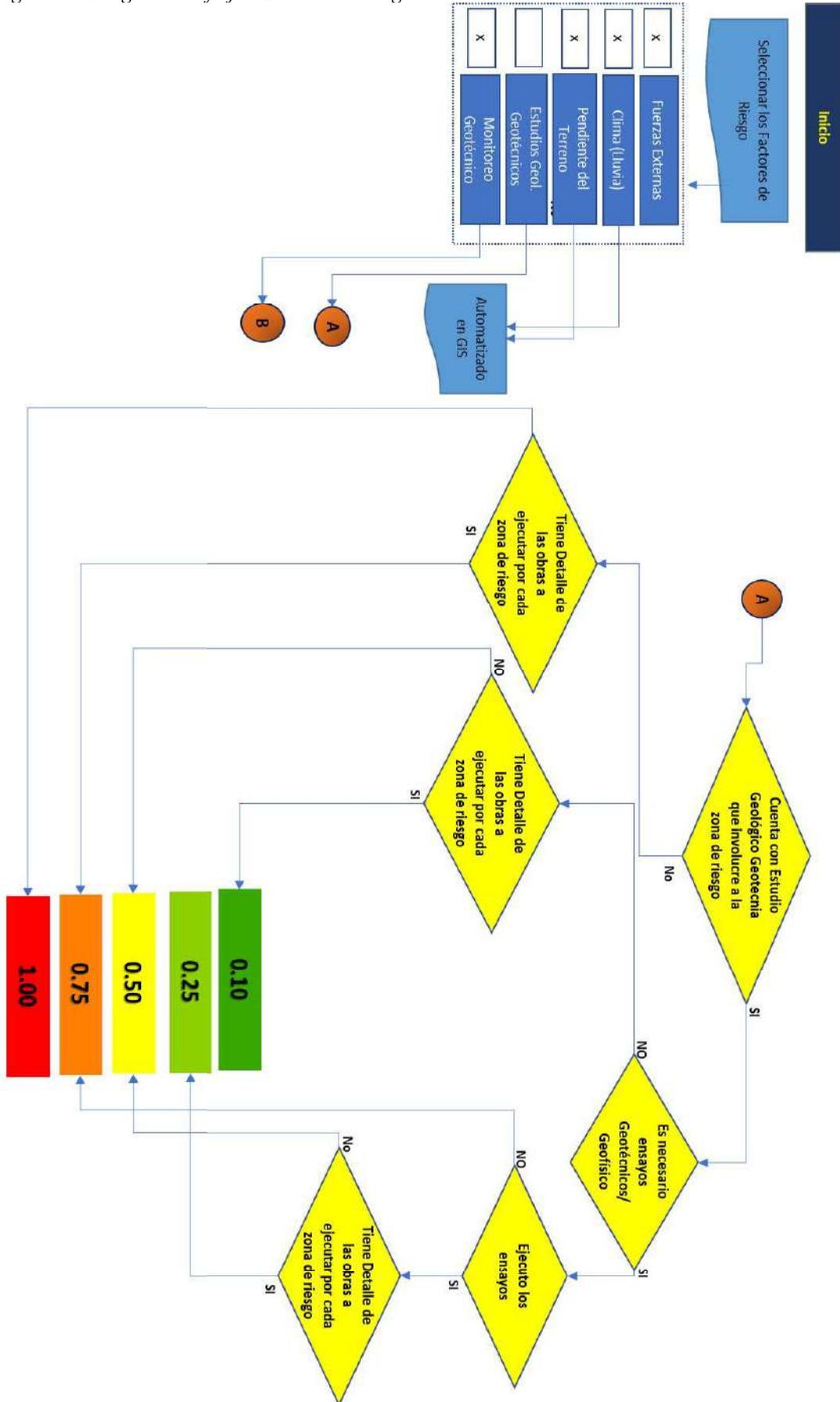
Nota: Rangos de pendientes clasificados según sus pesos asignados por juicio de expertos

7.1.4 Parámetro Geotécnico: Estudios Geológicos/Geotécnicos

Este parámetro considera como descriptores la implementación de ensayos de laboratorio, geofísica, monitoreo y detalle de obras ejecutadas o por ejecutar cuando se identifique una geoamenaza, definiendo sus pesos mediante el siguiente diagrama de flujo:



Figura 48: Diagrama de flujo - Estudios Geológicos/Geotécnicos



Fuente: Base de Datos – OSINERGMIN - UTDGN



A continuación, se detalla los descriptores que se han tomado en cuenta para evaluar el parámetro de Estudios Geológicos/Geotécnicos, ordenándolos de acuerdo a los pesos previamente establecidos mediante el diagrama de flujo de procesos (DFP) anterior:

Tabla 12: Parámetro geotécnico – Estudios geológicos/geotécnicos

	D1	D2	D3	D4	D5
	0,10	0,25	0,50	0,75	1,00
Estudios Geológicos/Geotécnicos	*SI Cuenta con Estudio Geológico /Geotécnico que involucra a la zona de riesgo, NO es necesario ensayos Geotécnicos/ Geofísico y/o monitoreo, SI tiene Detalle de las obras a ejecutar por cada zona de riesgo	*SI cuenta con Estudio Geológico /Geotécnico que involucra a la zona de riesgo, SI es necesario ensayos Geotécnicos/ Geofísico y/o monitoreo, SI se ejecutó los ensayos, SI tiene Detalle de las obras a ejecutar por cada zona de riesgo	*SI cuenta con Estudio Geológico /Geotécnico que involucra a la zona de riesgo, SI es necesario ensayos Geotécnicos/ Geofísico y/o monitoreo, SI se ejecutó los ensayos, NO tiene Detalle de las obras a ejecutar por cada zona de riesgo	*SI cuenta con Estudio Geológico /Geotécnico que involucra a la zona de riesgo, SI es necesario ensayos Geotécnicos/ Geofísico y/o monitoreo, No se ejecutó los ensayos. *NO cuenta con Estudio Geológico /Geotécnico que involucra a la zona de riesgo, SI tiene Detalle de las obras a ejecutar por cada zona de riesgo.	*NO cuenta con Estudio Geológico /Geotécnico que involucra a la zona de riesgo, NO tiene Detalle de las obras a ejecutar por cada zona de riesgo

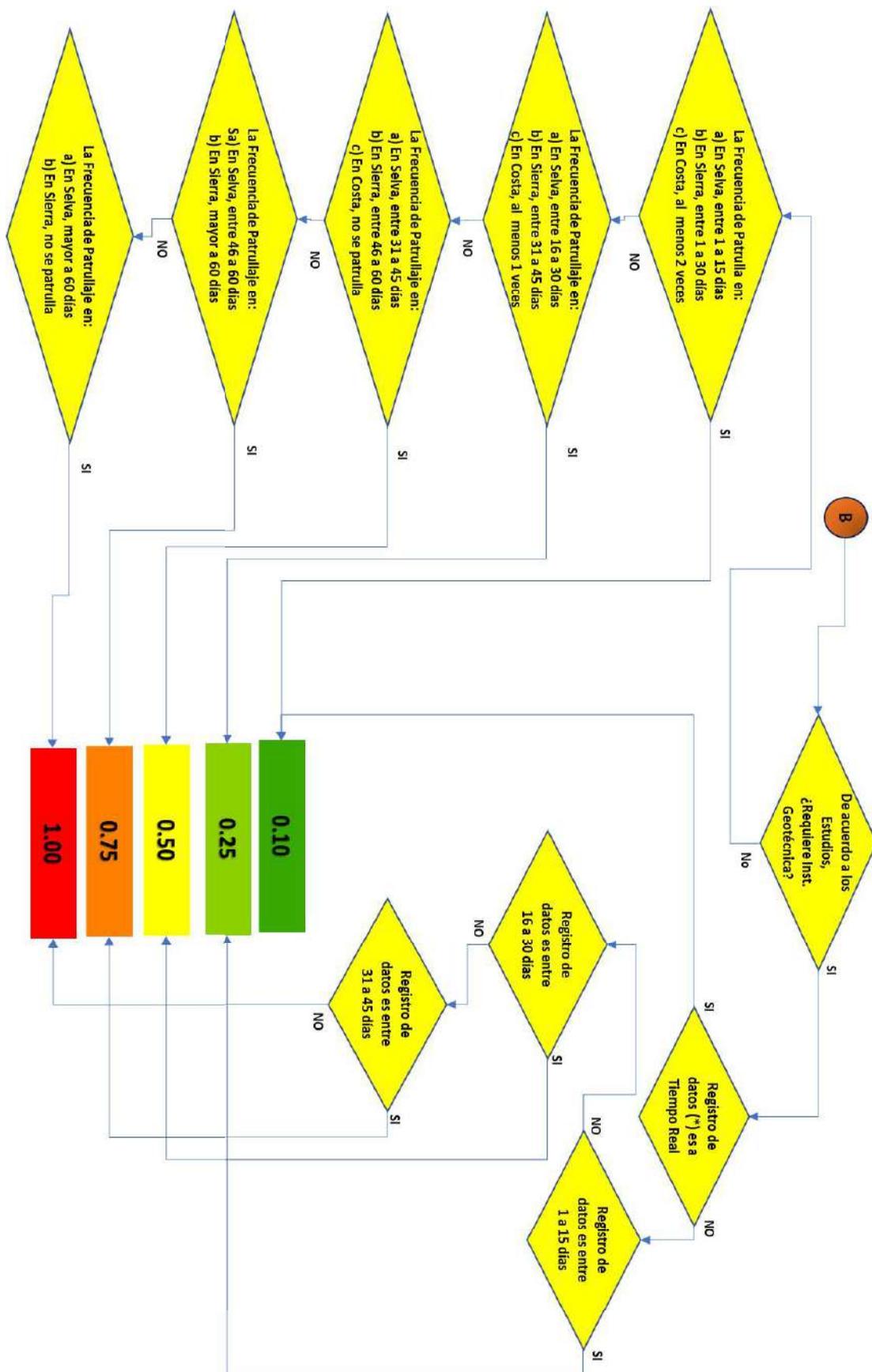
Nota: Se presenta distintos casos agrupados respecto al peso definido por el diagrama de flujo de procesos
 (*) Posible caso o circunstancia que pueda ocurrir

7.1.5 Parámetro Geotécnico: Monitoreo Geotécnico

El monitoreo geotécnico se realiza mediante un patrullaje presencial o instrumentación geotécnica (piezómetros, inclinómetros, strain gages) incluyendo un sistema SCADA, por lo tanto, la frecuencia con la que se realiza este monitoreo es importante, mediante el siguiente diagrama de flujo de procesos (DFP) se define los pesos y descriptores considerados:



Figura 49: Diagrama de Flujo - Monitoreo geotécnico



Fuente: Base de Datos – OSINERGMIN – UTDGN



A continuación, se detalla los descriptores que se han tomado en cuenta para evaluar el parámetro de Monitoreo Geotécnico, ordenándolos de acuerdo a los pesos previamente establecidos mediante el diagrama de flujo de procesos (DFP) anterior.

Tabla 13: Parámetro geotécnico – Frecuencia en el monitoreo geotécnico

	D1	D2	D3	D4	D5
	0,10	0,25	0,50	0,75	1,00
Monitoreo Geotécnico	<p>SI requiere Inst. Geotécnica, Registro de datos de la Instrumentación Geotécnica (**) durante la época de lluvia:</p> <p>a) A tiempo real</p>	<p>SI requiere Inst. Geotécnica, Registro de datos de la Instrumentación Geotécnica (**) durante la época de lluvia:</p> <p>a) Entre 1 a 15 días</p>	<p>SI requiere Inst. Geotécnica, Registro de datos de la Instrumentación Geotécnica (**) durante la época de lluvia:</p> <p>a) Entre 16 a 30 días</p>	<p>SI requiere Inst. Geotécnica, Registro de datos de la Instrumentación Geotécnica (**) durante la época de lluvia:</p> <p>a) Entre 31 a 45 días</p>	<p>SI requiere Inst. Geotécnica, Registro de datos de la Instrumentación Geotécnica (**) durante la época de lluvia:</p> <p>a) Como mínimo, una vez b) No registra datos, por no haber implementado la Instrumentación y/o estar fuera de servicio.</p>
	<p>NO requiere Inst. Geotécnica, Frecuencia de Patrullaje durante la época de lluvia:</p> <p>a) En Selva, entre 1 a 15 días b) En Sierra, entre 1 a 30 días c) En Costa, al menos 2 veces</p>	<p>NO requiere Inst. Geotécnica, Frecuencia de Patrullaje durante la época de lluvia:</p> <p>a) En Selva, entre 15 a 30 días b) En Sierra, entre 31 a 45 días c) En Costa, al menos 1 vez</p>	<p>NO requiere Inst. Geotécnica, Frecuencia de Patrullaje durante la época de lluvia:</p> <p>a) En Selva, entre 31 a 45 días b) En Sierra, entre 46 a 60 días c) En Costa, al menos 1 patrullaje fuera del periodo lluvioso.</p>	<p>NO requiere Inst. Geotécnica, Frecuencia de Patrullaje durante la época de lluvia:</p> <p>a) En Selva, entre 45 a 60 días b) En Sierra, mayor a 60 días c) En Costa, no se patrulla.</p>	<p>NO requiere Inst. Geotécnica, Frecuencia de Patrullaje durante la época de lluvia:</p> <p>a) En Selva, mayor a 60 días b) En Sierra, no se patrulla</p>

Nota: Se presenta distintos casos agrupados respecto a su nivel de peligrosidad elaborada de acuerdo a la metodología de juicio de expertos.

(**) La implementación de la Instrumentación Geotécnica obedece a una acción establecida en los estudios correspondientes incluye los Strain Gauge.



7.2 Análisis Multicriterio de la MFGBR

Una vez identificados los parámetros geotécnicos, se aplica el método multicriterio descrito en el numeral 2.2.5 de la presente tesis, a continuación, se construirá la matriz cuadrada de ponderación, realizando el proceso de comparación de pares definiendo los valores de acuerdo a la escala de Saaty, como se aprecia a continuación:

Tabla 14: Matriz de comparación de pares de la MFGBR

	Clima (lluvia)	Fuerzas externas	Pendientes del terreno	Estudios Geológicos/Geotécnicos	Monitoreo Geotécnico
Clima (lluvia)	1	1	2	3	3
Fuerzas externas	1	1	1	3	3
Pendientes del terreno	1/2	1	1	2	2
Estudios Geológicos/Geotécnicos	1/3	1/3	1/2	1	2
Monitoreo Geotécnico	1/3	1/3	1/2	1/2	1
Suma	3.17	3.67	5	9.5	11
1/Suma	0.32	0.27	0.20	0.11	0.09

Con el resultado anterior se continuará con la construcción de la matriz normalizada, como se aprecia a continuación:

Tabla 15: Matriz normalizada de la MFGBR

	Clima (lluvia)	Fuerzas externas	Pendientes del terreno	Estudios Geológicos/Geotécnicos	Monitoreo Geotécnico
Clima (lluvia)	0.32	0.27	0.40	0.32	0.27
Fuerzas externas	0.32	0.27	0.20	0.32	0.27
Pendientes del terreno	0.16	0.27	0.20	0.21	0.18
Estudios Geológicos/Geotécnicos	0.11	0.09	0.10	0.11	0.18
Monitoreo Geotécnico	0.11	0.09	0.10	0.05	0.09
Suma	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00

Una vez obtenida la matriz normalizada anterior, a continuación, se define el vector de priorización, resultando lo siguiente:

Tabla 16: Vector prioridad de la MFGBR

	Vector Prioridad	Prioridad
Clima (lluvia)	0.32	31.54 %
Fuerzas externas	0.28	27.54 %
Pendientes del terreno	0.20	20.46 %
Estudios Geológicos/Geotécnicos	0.12	11.67 %
Monitoreo Geotécnico	0.09	8.79 %
	1.00	100.00 %



7.3 Índice de consistencia de la MFGBR

Este cálculo inicia con la multiplicación de la “matriz cuadrada” construida en un inicio y la matriz “Vector Priorización”, dicho resultado la denominamos como Vector Suma Ponderada, a continuación, se aprecia su cálculo:

Tabla 17: Multiplicación de matrices de la MFGBR

	Clima (lluvia)	Fuerzas externas	Pendientes del terreno	Estudios Geológicos/ Geotécnicos	Monitoreo Geotécnico	Vector Prioridad
Clima (lluvia)	1	1	2	3	3	0.32
Fuerzas externas	1	1	1	3	3	0.28
Pendientes del terreno	1/2	1	1	2	2	0.20
Estudios Geológicos/ Geotécnicos	1/3	1/3	1/2	1	2	0.12
Monitoreo Geotécnico	1/3	1/3	1/2	1/2	1	0.09

El resultado de dicha multiplicación (Vector suma Ponderada) se dividirá entre el “Vector Priorización”, dando como resultado los Lambdas necesarios para el cálculo del Lambda máximo (λ_{max}), como se aprecia a continuación:

Tabla 18: Cálculo de lambdas de la MFGBR

Vector Suma Ponderada	÷	Vector Priorización	=	λ
1.614		0.32		5.117
1.409		0.28		5.117
1.047		0.20		5.117
0.592		0.12		5.073
0.446		0.09		5.066

$$\lambda_{max} = \left(\frac{5.117 + 5.117 + 5.117 + 5.073 + 5.066}{5} \right) = 5.098$$

Una vez obtenido el Lambda máximo, seguimos con el cálculo del Índice de Consistencia (IC):

$$IC = \frac{5.098 - 5}{5 - 1} = 0.024$$

7.4 Relación de consistencia de la MFGBR

Con el IC se establecerá la Relación de Consistencia (RC) tal como se aprecia a continuación:

$$RC = \frac{0.024}{1.115} = 0.022$$

Cabe mencionar que el valor de 1.115 es el valor del Índice Aleatorio, el cual fue explicado en el numeral 2.2.7 de la presente tesis, de esta manera se obtiene un valor de 0.022 el cual en comparación con la condición de Aguarón y Moreno-Jiménez, 2001,



CUMPLE por ser menor a 0.10, lo que demuestra la aceptabilidad de los cálculos realizados.

7.5 Priorización

Para este procedimiento, se hace uso del software Microsoft Excel, el cual tiene características simples para el manejo de datos que se asemeja a una base de datos en forma de tablas relacionales.

De esta manera se agrupan los diferentes puntos de riesgo geotécnico identificados en campo y/o remitidos por los diferentes agentes fiscalizados, tomando en cuenta su accesibilidad, distancia de separación entre puntos, logística necesaria y otros.

A continuación, se muestra un ejemplo de una tabla relacional que agrupa los riesgos geotécnicos en diferentes tramos, los cuales, una vez codificados son denominados componentes:

Tabla 19: Ejemplo de componentes de la MFGBR

Ítem	Agente Fiscalizado	Componente	Descripción
1	A	A-GEO-KP-000+000-KP-001+800	Gasoducto
2	A	A-GEO-KP-013+400-KP-015+500	Gasoducto
3	A	A-GEO-KP-115+300-KP-116+800	Gasoducto
4	B	B-GEO-KP-001+100-KP-003+700	Gasoducto
5	B	B-GEO-KP-435+600-KP-438+900	Dieselducto
6	C	C-GEO-KP-000+000-KP-001+800	Gasoducto
...
165	D	D-GEO-KP-010+000-KP-014+350	Gasoducto
166	D	D-GEO-KP-001+100-KP-007+400	Flowline
167	E	E-GEO-KP-001+150-KP-005+600	Flowline
168	E	E-GEO-KP-006+000-KP-009+800	Flowline

Una vez construida dicha tabla relacional se procede a automatizar los cálculos de priorización, de acuerdo a las siguientes ecuaciones:

Tabla 20: Cálculo de índice de priorización de la MFGBR

$\frac{\text{Vector Priorización}_n}{100} \times \text{Descriptor}_n = V_n$	$V_1 = \frac{31.54}{100} \times 0.1 = 0.032$
$V_1 \times V_2 \times \dots \times V_n = P$	$0.032 + 0.138 + 0.102 + 0.029 + 0.009 = 0.309$

Donde P es el índice de Priorización con el cual estableceremos la prioridad de acuerdo a los siguientes rangos:

$$P1 \in < 0.6 - 1]$$

$$P2 \in < 0.35 - 0.6]$$

$$P3 \in < 0 - 0.35]$$



De esta manera se calculará la prioridad de cada uno de los componentes establecidos, en el siguiente cuadro se presenta un ejemplo automatizado de este cálculo, asociado a un ícono de prioridad para su mejor diferenciación:

Tabla 21: Ejemplo de cálculo de prioridad de la MFGBR

tramo	Cálculo										Priorización	
	Clima (lluvia)		Fuerzas externas		Pendientes del terreno		Estudios Geológicos/ Geotécnicos		Monitoreo Geotécnico		Índice	Prioridad
	D	Ptos.	D	Ptos.	D	Ptos.	D	Ptos.	D	Ptos.	Σ	
		31.54		27.54		20.46		11.67		8.79		
1	D1	0,032	D3	0,138	D3	0,102	D2	0,029	D1	0,009	0,309	3
2	D5	0,315	D2	0,069	D3	0,102	D2	0,029	D2	0,022	0,538	2
3	D5	0,315	D4	0,207	D3	0,102	D2	0,029	D4	0,066	0,719	1
4	D2	0,079	D2	0,069	D3	0,102	D2	0,029	D2	0,022	0,301	3
5	D3	0,158	D2	0,069	D2	0,051	D2	0,029	D2	0,022	0,329	3
6	D5	0,315	D2	0,069	D2	0,051	D2	0,029	D3	0,044	0,509	2
...
165	D5	0,315	D3	0,138	D4	0,153	D3	0,058	D4	0,066	0,731	1
166	D5	0,315	D3	0,138	D3	0,102	D2	0,029	D4	0,066	0,651	1
167	D5	0,315	D2	0,069	D2	0,051	D2	0,029	D2	0,022	0,487	2
168	D5	0,315	D2	0,069	D2	0,051	D2	0,029	D3	0,044	0,509	2

De acuerdo a estas prioridades obtenidas se establecen las acciones de fiscalización mínimas de acuerdo al siguiente recuadro:

Tabla 22: Prioridades de la MFGBR y acciones de fiscalización mínimas

Acciones de Fiscalización mínimas	
Prioridad 1 < 0.6 - 1]	01 supervisión de campo 01 supervisión de campo o remota 01 supervisión de gabinete
Prioridad 2 < 0.35-0.6]	01 supervisión de campo 01 supervisión de campo o remoto o de gabinete
Prioridad 3 < 0 - 0.35]	01 supervisión de campo o remoto o gabinete

CAPITULO VIII: CASO² DEL KP 181+000 al KP 185+000

8.1. Ubicación

De acuerdo al método de fiscalización geotécnica basada en riesgos desarrollado en el anterior capítulo, se considerará un caso práctico, del tramo del DDV del KP 181+000 al KP 185+000 de un ducto de transporte de gas natural, al cual se realizará los cálculos de priorización para la planificación de su fiscalización geotécnica.

Este tramo se ubica en la zona geográfica selva del departamento de Ayacucho.

Como punto inicial se identificaron 29 zonas de riesgo, de acuerdo a la siguiente distribución:

Figura 50: Ubicación de zonas de riesgo identificadas



Fuente: Base de Datos – OSINERGMIN – UTDGN

² Los datos usados y resultados obtenidos en el presente capítulo pueden variar de acuerdo a las características geotécnicas del momento, por lo tanto, no deben considerarse como una representación absoluta de la realidad actual.

8.2. Definición de componentes

Una vez identificados los puntos o zonas de riesgo, son agrupados de acuerdo a sus características similares en cuanto a su pendiente promedio, clima u otras características geotécnicas, es este sentido, se agruparon las 29 zonas de riesgo identificadas, en dos componentes principales, como se muestra a continuación:

Figura 51: Componentes considerados – Caso práctico

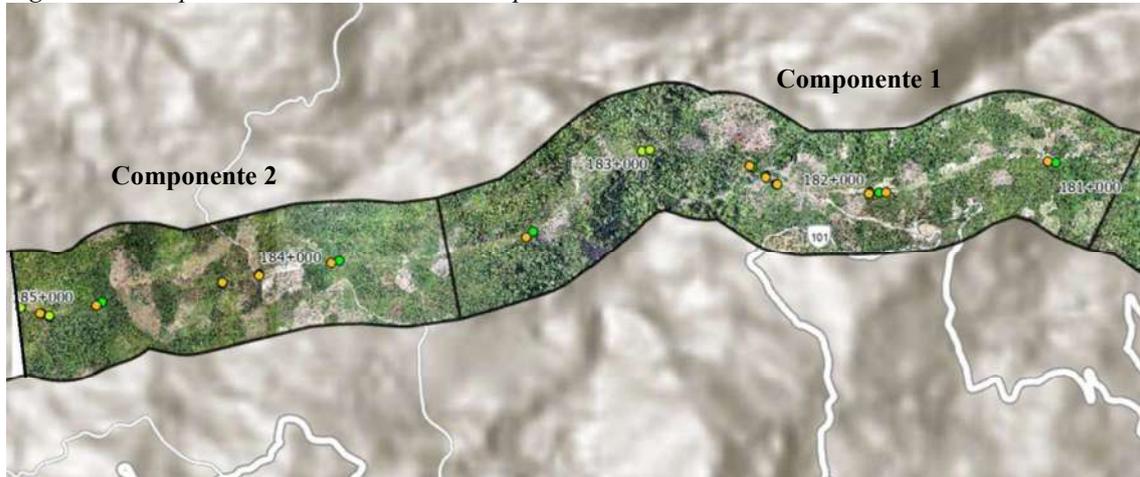


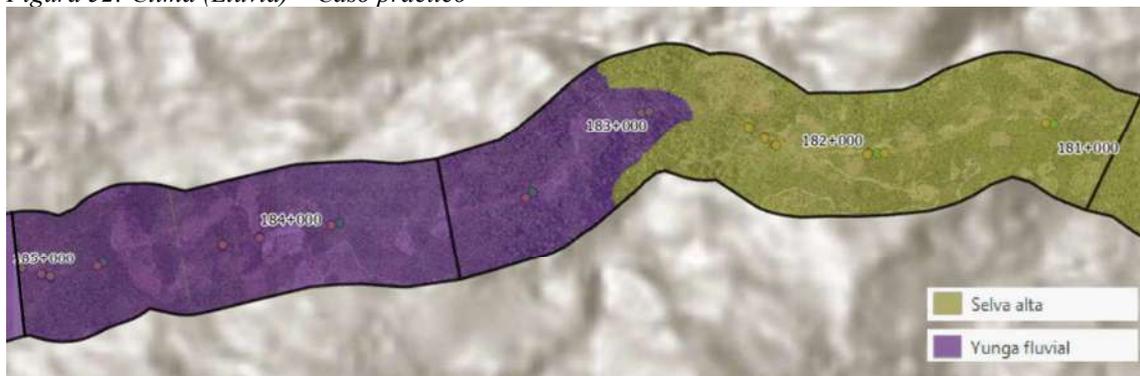
Tabla 23: Componentes considerados – Caso práctico

Componente	Tramo
1	Del KP 181+000 al KP 183+500
2	Del KP 183+500 al KP 185+000

8.3. Evaluación de parámetro geotécnico: Clima (Lluvia)

Con estos componentes o tramos considerados, se evaluó el primer parámetro geotécnico “Clima (Lluvia)”, para lo cual mediante el geoprocetamiento de curvas de nivel mediante el software ArcGis Pro se distingue que el componente 1 se encuentra en una zona de yunga fluvial y selva alta, sin embargo, para cálculos se considerará todo el componente como una zona de Selva alta por su mayor extensión, asimismo, el componente 2 se encuentra en una zona de yunga fluvial como se aprecia a continuación:

Figura 52: Clima (Lluvia) – Caso práctico





Por lo tanto, de lo desarrollado en el numeral 7.1.1 de la presente tesis, los valores de sus correspondientes descriptores se muestran a continuación:

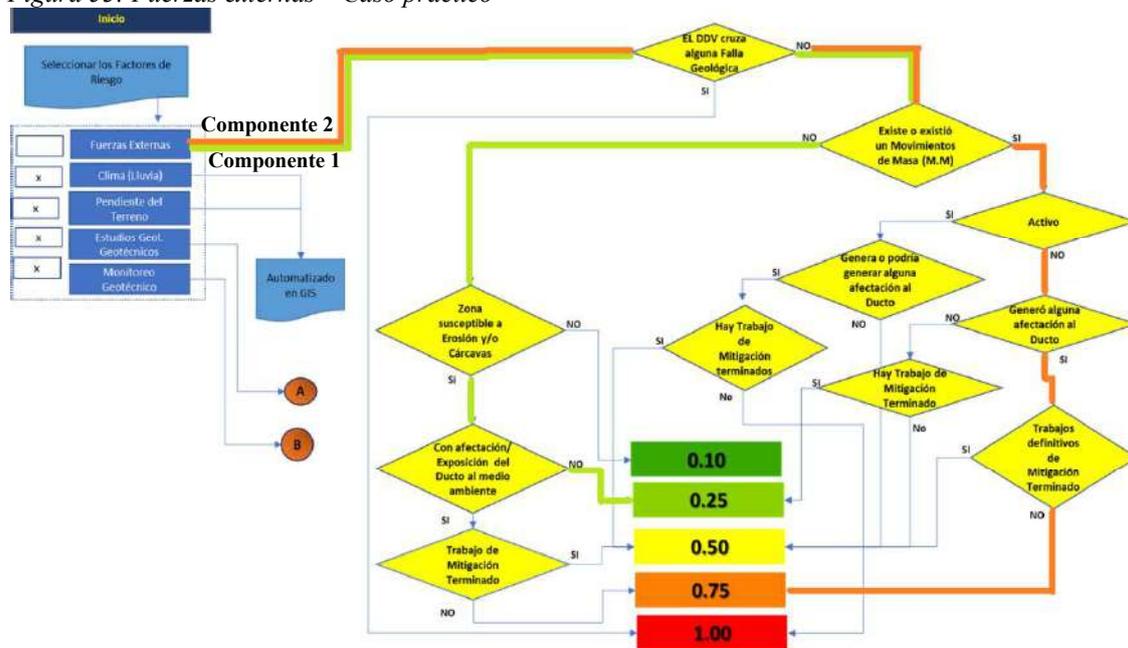
Tabla 24: Clima (Lluvia) – Caso práctico

Componente	Parámetro geotécnico	Tramo	Descriptor	Valor
1	Clima	Del KP 181+000 al KP 183+500	D5	1.00
2	(Lluvia)	Del KP 183+500 al KP 185+000	D4	0.75

8.4. Evaluación de parámetro geotécnico: Fuerzas externas

A continuación, evaluamos el segundo parámetro geotécnico “Fuerzas externas”, para lo cual hacemos uso del diagrama de flujos mostrado en la figura 41, desarrollado en el numeral 7.1.2. de la presente tesis, tal como se muestra a continuación:

Figura 53: Fuerzas externas – Caso práctico



Fuente: Modificado de base de datos – Osinergmin

Por lo tanto, siguiendo el diagrama de acuerdo a los antecedentes de cada componente definimos los descriptores para cada uno de ellos:

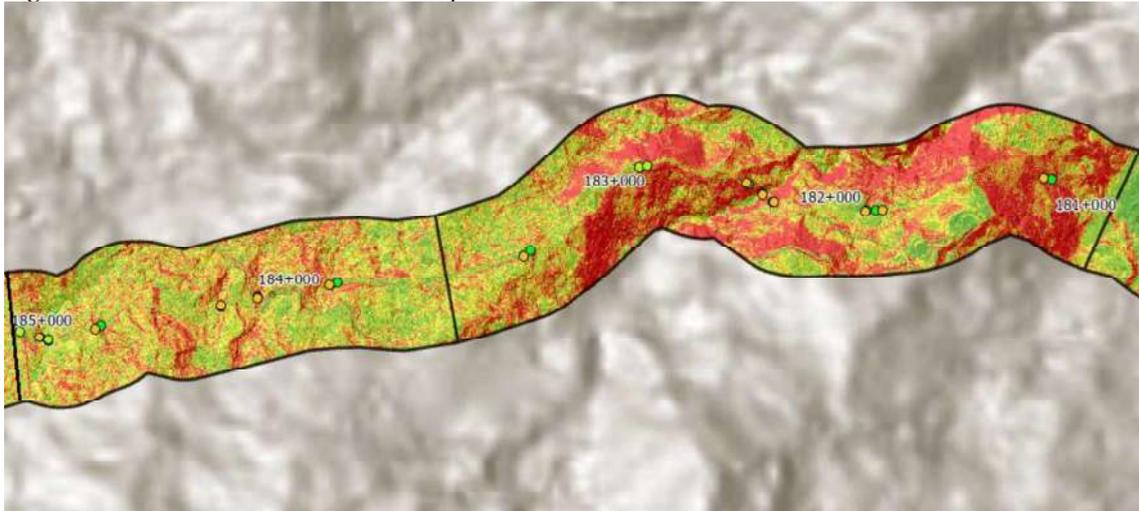
Tabla 25: Fuerzas externas – Caso práctico

Componente	Parámetro geotécnico	Tramo	Descriptor	Valor
1	Fuerzas	Del KP 181+000 al KP 183+500	D2	0.25
2	externas	Del KP 183+500 al KP 185+000	D4	0.75

8.5. Evaluación de parámetro geotécnico: Pendientes del terreno

Mediante el uso del software ArcGIS Pro, evaluamos el tercer parámetro geotécnico “Pendientes del terreno”, con el cual se determina que el componente 1 tiene pendientes entre 22% a 32% y el componente 2 tiene pendientes entre 15% a 22%, como se muestra a continuación:

Figura 54: Pendientes de terreno – Caso práctico



Fuente: Modificado de base de datos – Osinergmin

Por lo tanto, de acuerdo a lo desarrollado en el numeral 7.1.3 se definen los siguientes valores de sus descriptores:

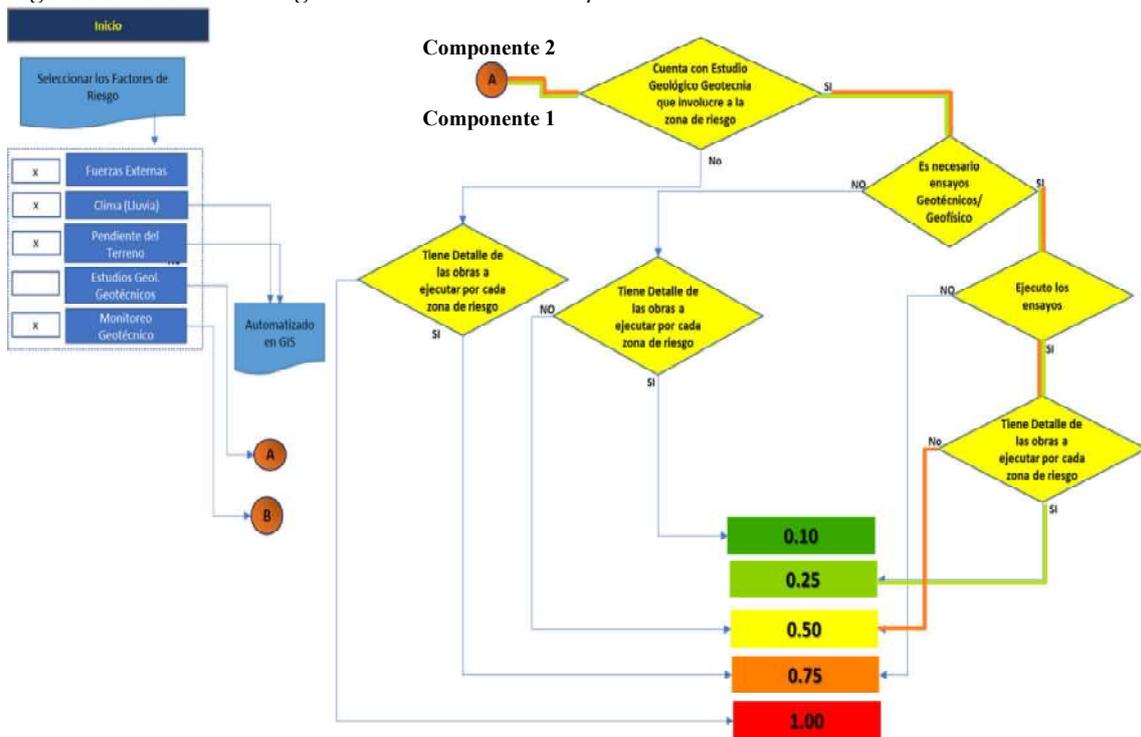
Tabla 26: Pendientes de terreno – Caso práctico

Componente	Parámetro geotécnico	Tramo	Descriptor	Valor
1	Pendientes de terreno	Del KP 181+000 al KP 183+500	D4	0.75
2		Del KP 183+500 al KP 185+000	D3	0.50

8.6. Evaluación de parámetro geotécnico: Estudios Geológicos/ Geotécnicos

Seguidamente, evaluamos el cuarto parámetro geotécnico “Estudios Geológicos/ Geotécnicos”, para lo cual hacemos uso del diagrama de flujo desarrollado en la figura 43 del numeral 7.1.4. de la presente tesis, como se muestra en la siguiente figura:

Figura 55: Estudios Geológicos/ Geotécnicos – Caso práctico



Fuente: Modificado de base de datos – Osinergmin

Por lo tanto, de acuerdo a los antecedentes de los componentes analizados se obtuvieron los siguientes descriptores:

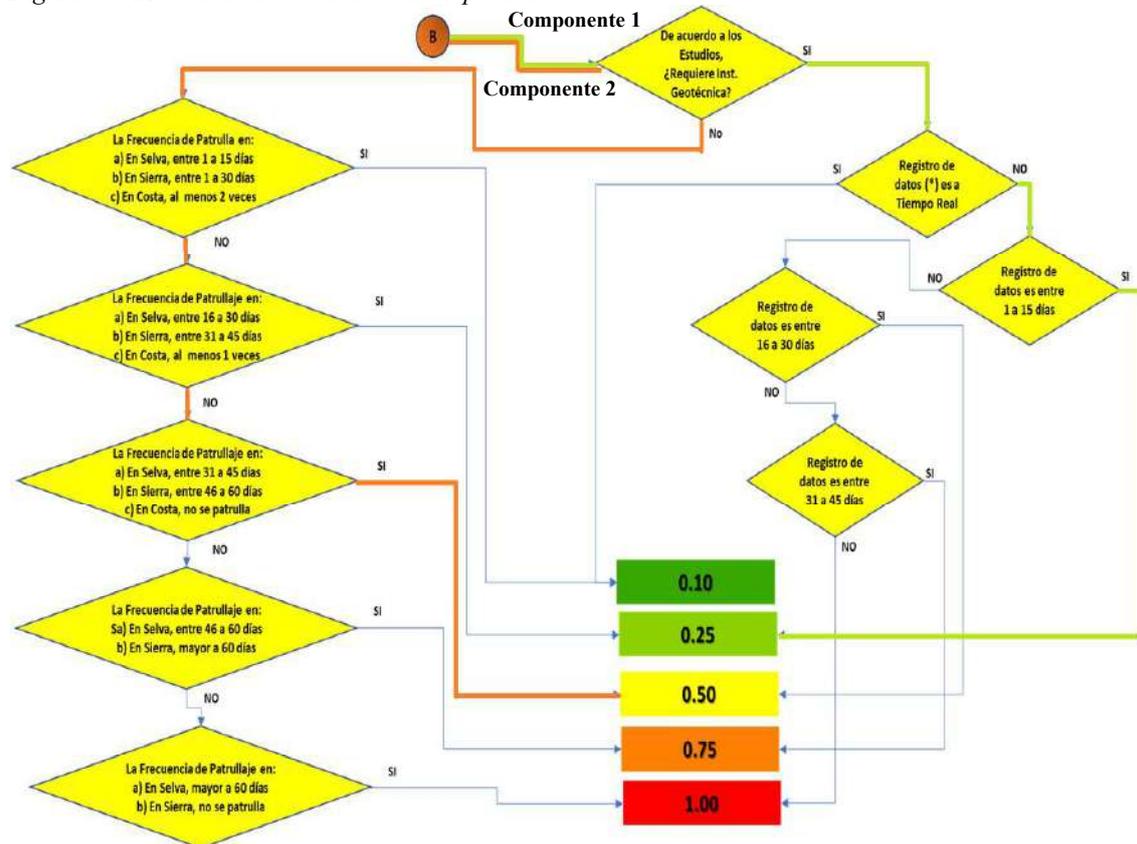
Tabla 27: Estudios Geológicos/ Geotécnicos – Caso práctico

Componente	Parámetro geotécnico	Tramo	Descriptor	Valor
1	Estudios Geológicos/ Geotécnicos	Del KP 181+000 al KP 183+500	D2	0.25
2	Estudios Geológicos/ Geotécnicos	Del KP 183+500 al KP 185+000	D3	0.50

8.7. Evaluación de parámetro geotécnico: Monitoreo Geotécnico

De igual manera, se evalúa el quinto parámetro geotécnico “Monitoreo Geotécnico” mediante el uso del diagrama de flujo desarrollado en la figura 44 del numeral 7.1.5. como se aprecia en la siguiente imagen:

Figura 56: Monitoreo Geotécnico – Caso práctico



Fuente: Modificado de base de datos – Osinergmin

Por lo tanto, de acuerdo a los antecedentes de los componentes analizados se obtuvieron los siguientes descriptores:

Tabla 28: Monitoreo Geotécnico – Caso práctico

Componente	Parámetro geotécnico	Tramo	Descriptor	Valor
1	Estudios Geológicos/ Geotécnicos	Del KP 181+000 al KP 183+500	D2	0.25
2	Geotécnicos	Del KP 183+500 al KP 185+000	D3	0.50

8.8. Cálculo de priorización

Una vez definidos todos los descriptores, se toman en cuenta los resultados obtenidos en el análisis multicriterio desarrollado en el numeral 7.2. de la presente tesis, que dio el siguiente vector priorización:

Tabla 29: Vector priorización – Caso práctico

Priorización
31.54 %
27.54 %
20.46 %
11.67 %
8.79 %

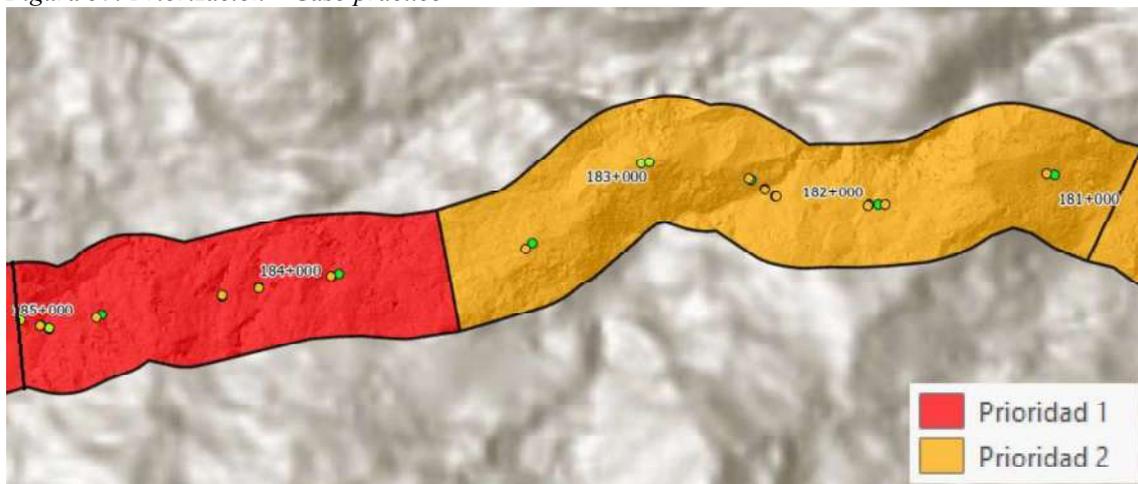
Por lo tanto, se realiza el cálculo de prioridad desarrollado en el numeral 7.5 de la presente tesis, considerando el vector priorización y los descriptores obtenidos.

Tabla 30: Calculo de priorización – Caso práctico

Tramos (Componentes)	Cálculo										Priorización		
	Clima (lluvia)		Fuerzas externas		Pendientes del terreno		Estudios Geológicos/ Geotécnicos		Monitoreo Geotécnico		Índice Σ	Prioridad	
	31.54		27.54		20.46		11.67		8.79				
D	Peso	D	Peso	D	Peso	D	Peso	D	Peso				
Del KP 181+000 al KP 183+500	D5	0,315	D2	0,069	D4	0,153	D2	0,029	D2	0,022	0,589	2	
Del KP 183+500 al KP 185+000	D4	0,237	D4	0,207	D3	0,102	D3	0,058	D3	0,044	0,648	1	

Con este resultado, podemos determinar que el componente 1 tiene una prioridad 2 de fiscalización y el componente 2 tiene una prioridad 1 de fiscalización, como se representa en la siguiente figura:

Figura 57: Priorización – Caso práctico





Por lo tanto, las acciones de fiscalización mínimas, de acuerdo a lo descrito en el numeral 7.5 de la presente tesis, serán:

Tabla 31: *Acciones de fiscalización – Caso práctico*

Acciones de Fiscalización mínimas	
Prioridad 1	01 supervisión de campo, 01 supervisión de campo o remota y 01 supervisión de gabinete
Prioridad 2	01 supervisión de campo y 01 supervisión de campo o remoto o gabinete

Es así que, con todos los cálculos realizados, se procede a realizar la programación de las acciones de fiscalización en campo:

Tabla 32: *Programación de fiscalización – Caso práctico*

Plan anual de fiscalización													
Componente	Prioridad	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
Del KP 181+000 al KP 183+500	2	C						C					
Del KP 183+500 al KP 185+000	1	C						C					G



CAPITULO IX: TECNOLOGÍA DE INMERSIÓN

El constante avance tecnológico e innovación en la búsqueda de la mejora continua posibilitan la aplicación de nuevas tecnologías avanzadas en el ámbito de la fiscalización de Sistemas de Transporte por Ductos de Gas Natural, destacándose la Tecnología de Inmersión.

En ese contexto, la Tecnología de inmersión logra una significativa reducción de tiempos, demandas logísticas y al mismo tiempo garantiza la seguridad de los fiscalizadores al momento de realizar sus actividades en áreas con restricciones sociales o en entornos geográficos inaccesibles debido a su agreste y peligrosa geomorfología.

Consiste en un Dron industrial, en este caso en la siguiente imagen se puede apreciar un matrix M30, el cual se encuentra conectado inalámbricamente con unos lentes de visión en primera persona (FPV, First Person View) equipado con cámaras de última generación para mejorar la resolución de imágenes y videos, reducir la vibración del equipo por el viento y su desplazamiento, entre otros.

Figura 58: Dron: Matriz M30



Fuente: Base de datos – OSINERGMIN – UTDGN

A continuación, se presenta un diagrama de procesos, en el cual apreciamos que, una vez obtenido el programa anual de fiscalización como resultado de la metodología de fiscalización geotécnica basada en riesgos, se inicia el proceso del uso de tecnología de inmersión, aplicándolo a los componentes que sean de difícil acceso o con restricción.

Figura 59: Diagrama de procesos - uso de tecnología de inmersión



Fuente: Base de datos – OSINERGMIN – UTDGN

Anteriormente, mediante vuelos especiales con RPAS equipados con tecnología convencional, los fiscalizadores visualizaban las imágenes por medio de una Tablet enfrentándose a diversos inconvenientes como los reflejos en las pantallas, luz solar intensa, polvo y otros parámetros que dificultaban la correcta visualización, complicando la interpretación oportuna al momento de visualizar procesos geológicos/geotécnicos.

Figura 60: Uso de RPAS con tecnología convencional



Fuente: Osinergmin – UTDGN

Asimismo, el piloto y el supervisor debían de compartir la misma pantalla en la que el piloto maniobra el Dron, dificultando o casi imposibilitando una buena interpretación geotécnica del estado del DDV en campo.

Figura 61: Supervisión con dron convencional



Fuente: Imagen generada por Meta AI. (2024)

No obstante, gracias al empleo de la innovadora tecnología de inmersión en el ámbito de la fiscalización geotécnica, permite ampliar significativamente el campo de visión del fiscalizador, por lo tanto, se obtiene una visualización completa en alta resolución de todo el entorno geológico/geotécnico y sobre todo sin inconvenientes ni interferencias del entorno ambiental.

Figura 62: Uso de RPAS con tecnología de inmersión



Fuente: OSINERGMIN – UTDGN

A continuación, se detallan algunos parámetros en los que el uso de tecnología de inmersión en la fiscalización geotécnica interviene:

9.1 Desplazamiento humano:

Mediante el empleo de la tecnología de inmersión en la ejecución de las acciones de fiscalización planificadas por la metodología de fiscalización basada en riesgo, el fiscalizador se posiciona estratégicamente en un punto fijo y seguro para el lanzamiento de RPAS, una vez en vuelo se realiza el recorrido dando instrucciones al piloto, de esta manera se elimina la necesidad de desplazamiento en gran medida en comparación con la fiscalización tradicional.

9.2 Experiencia de fiscalización:

Esta tecnología nos brinda una experiencia en tiempo real de inspección inmersiva y profunda de la geología/geotecnia, mediante unos lentes FPV que dan una sensación de realizar el recorrido físicamente dentro del RPAS, lo que mejora la toma de decisiones inmediatas.



9.3 Perspectiva de fiscalización:

Nos permite tener una perspectiva aérea del DDV fiscalizado en su totalidad similar a estar en un entorno de realidad virtual, pudiendo identificar zonas de interés y acercarse inmediatamente en ángulo y alturas que serían difíciles o imposibles de alcanzar en persona.

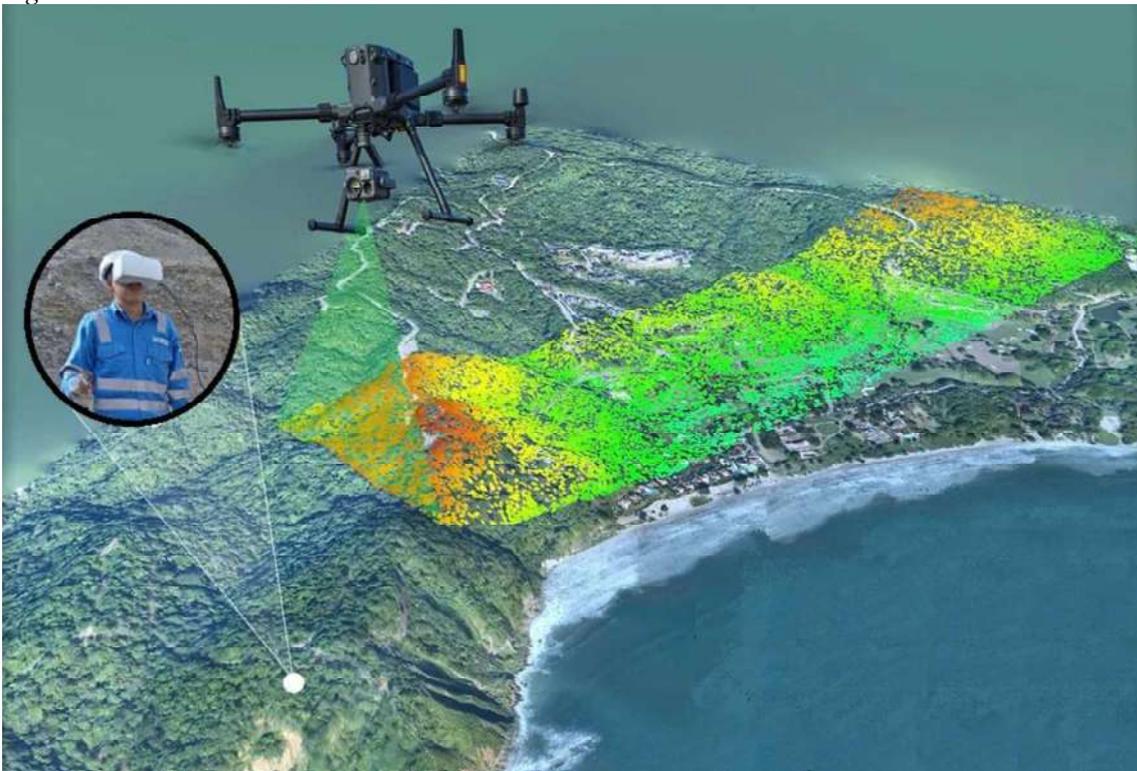
9.4 Capacidad de ampliación óptica:

Esta tecnología tiene la capacidad de realizar zoom óptico de hasta 30X permitiendo al fiscalizador visualizar un mayor detalle de estructuras geológicas sin perder la calidad de imagen, asimismo, se obtiene una visualización amplia de mayor alcance espacial, lo que ayuda a entender mejor el contexto geológico para una correcta interpretación geológica.

9.5 Control de parámetros externos:

La tecnología de inmersión tiene una alta capacidad en este aspecto, ya que nos aísla de los distractores (polvo abundante, luz solar intensa, entre otros) presentes en el entorno de la fiscalización aumentando así la concentración del fiscalizador.

Figura 63: Alcance de los sistemas RPAS



Fuente: Modificado de: <https://www.lidar-mexico.com/topografia-lidar-dron>



CAPITULO X: RESULTADOS

A continuación, se muestran algunos indicadores respecto a los resultados o efectos de la integración de parámetros geotécnicos en la metodología de fiscalización basada en riesgos durante el año 2022 y el uso de tecnología de inmersión en las actividades de fiscalización gestionadas y ejecutadas por la Unidad de Transporte por Ductos de Gas Natural.

10.1. Área efectiva fiscalizada

En comparación a métodos tradicionales los cuales se enfocan en la verificación de puntos específicos, la metodología de fiscalización basada en riesgos aplicada a la geotecnia usa técnicas probabilísticas soportadas por herramientas de inteligencia geoespacial para realizar la agrupación de puntos de interés geotécnico (riesgos) en áreas donde se realizan las acciones de fiscalización, de esta manera incrementar el área efectiva fiscalizada para un mejor análisis e interpretación geológica/geotécnica del DDV y el medio circundante que influencia a los sistemas de transporte por ductos de gas natural.

Así mismo, el uso de la tecnología de inmersión hace posible recorrer detalladamente toda el área considerada por la metodología, pudiendo apreciar todo el contexto geológico de zonas altas y distantes, de difícil acceso o con restricción social.

En el siguiente cuadro, se muestra el incremento del área fiscalizada en más del 400% gracias a la aplicación de la metodología de fiscalización basada en riesgos y un incremento de más del 700% al incorporar el uso de tecnología de inmersión en comparación a una fiscalización tradicional, evidenciando la gran capacidad de la metodología y esta tecnología en cuanto a fiscalizar mayor área:

Tabla 33: Indicador - Área efectiva fiscalizada

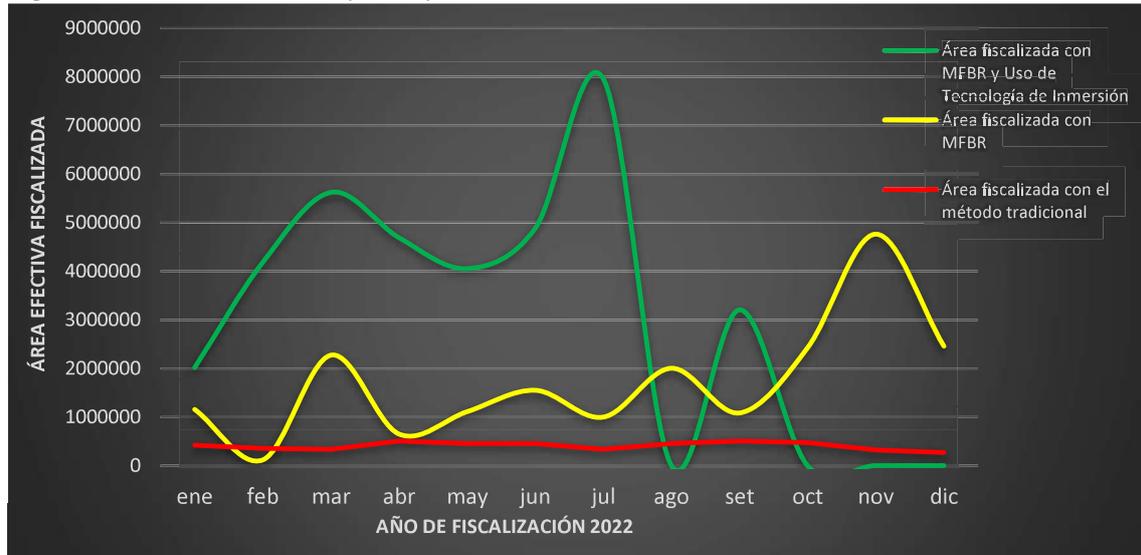
Escenario	Área efectiva (m^2)	Incremento del Área Efectiva Fiscalizada (%)
Fiscalización tradicional	4 924 000	100.00 %
Fiscalización geotécnica basada en riesgos	20 610 175	418.57 %
Fiscalización basada en riesgos geotécnicos y uso de tecnología de inmersión en tiempo real	36 636 800	744.05 %

Fuente: Base de datos – OSINERGMIN - UTDGN

Este incremento de las áreas efectivas fiscalizadas en el año 2022 se puede apreciar en la siguiente figura, la cual evidencia que la fiscalización tradicional cubre una menor área efectiva en comparación al área cubierta por una fiscalización geotécnica basada en riesgos y aún es más evidente la diferencia al aplicar la tecnología de inmersión, logrando cubrir más área usando menor cantidad de recursos:



Figura 64: Variación del área efectiva fiscalizada durante el año 2022



Fuente: Base de datos – OSINERGMIN - UTDGN

10.2. Costos de fiscalización por área efectiva

En todo proyecto de inversión es fundamental los costos en cuanto a la eficiencia de los métodos utilizados, es así que, al medir y comparar los costos de los recursos utilizados en la fiscalización geotécnica por los tres métodos presentados en la presente tesis, se obtienen los siguientes resultados para el año 2022.

En el siguiente cuadro, se muestra los costos de fiscalización por metro cuadrado para los tres métodos, de donde podemos evidenciar que con la aplicación de la Metodología de Fiscalización Basada en Riesgos se tiene una reducción de costos de más del 80% y aún mayor es la reducción al aplicar la tecnología de inmersión en dicha metodología sobrepasando el 90% de reducción de costos.

Tabla 34: Indicador - Costos de fiscalización por área efectiva

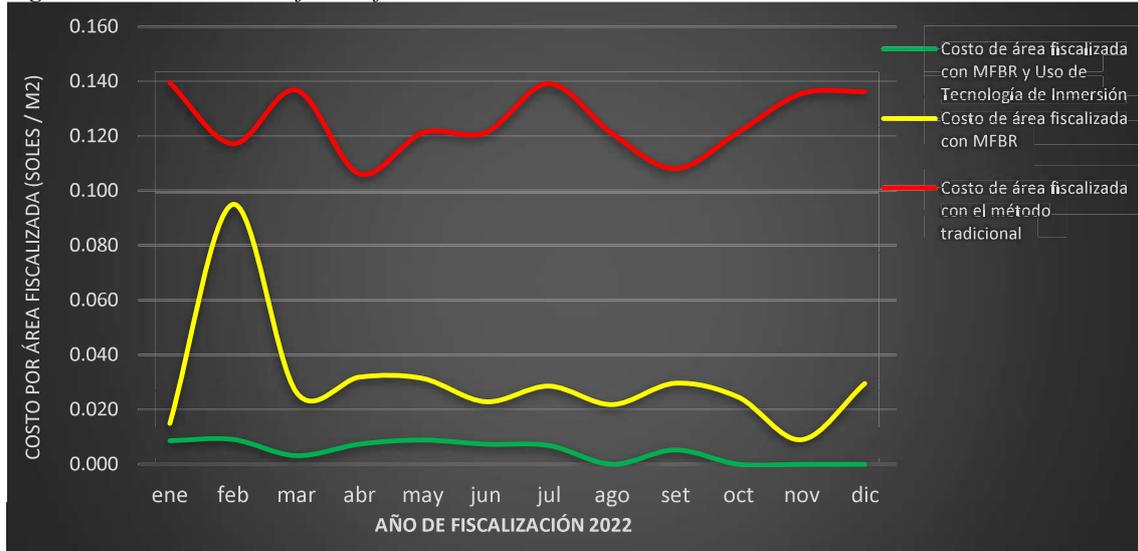
	Escenario	Costo por Área Efectiva Fiscalizada (Soles / m2)	Reducción de Costos de la Fiscalización por Área Efectiva Fiscalizada (%)
1	Fiscalización Tradicional asociada a puntos de riesgos geotécnicos	0.124	No Aplica
2	Fiscalización con Metodología de Fiscalización Basada en Riesgos - MFBR	0.022	82.00 %
3	Fiscalización con Metodología de Fiscalización Basada en Riesgos – MFBR y Uso de Tecnología Inmersiva en Tiempo Real	0.007	94.48 %

Fuente: Base de datos – OSINERGMIN - UTDGN

Esta diferencia de los costos por metro cuadrado para el año 2022 se puede apreciar en el siguiente gráfico:



Figura 65: Costo de área efectiva fiscalizada durante el año 2022



Fuente: Base de datos – OSINERGMIN - UTDGN

De esta manera se evidencia que con la aplicación de la metodología de fiscalización basada en riesgos y el uso de tecnología de inmersión reduce los costos de las acciones de fiscalización, permitiendo hacer un buen uso de inversiones nacionales lo que favorece a todos los peruanos al hacer una gestión pública eficiente.

10.3. Área Efectiva de Mantenimiento Preventivo

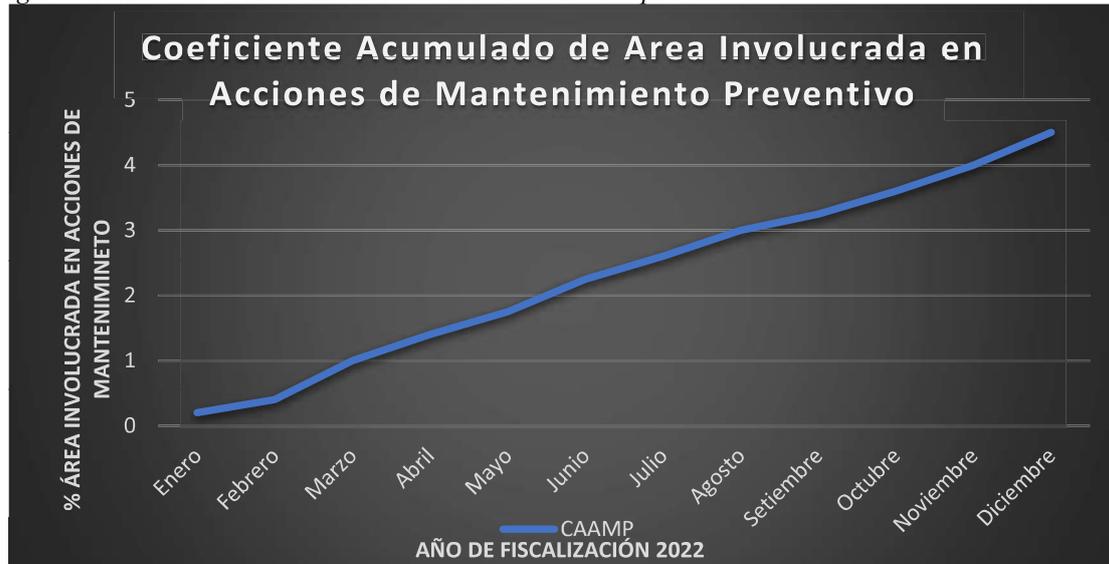
Una vez ejecutada las acciones de fiscalización geotécnicas en campo, se reconocen zonas con procesos geológicos/geotécnicos que pudieran afectar la integridad de los ductos que integran los sistemas de transporte de hidrocarburos, los cuales son alertados tempranamente a los operadores, para que puedan tomar acciones de mantenimiento y prevenir los efectos catastróficos de estos.

Para medir el incremento de área efectiva de mantenimiento identificados por el método de fiscalización basada en riesgos y uso de tecnología de inmersión, se hace uso del Coeficiente Acumulado de Área involucrada en acciones de Mantenimiento Preventivo (CAAMP), el cual tiene la siguiente fórmula:

$$CAAMP = \sum \frac{\text{Área observada en la fiscalización}}{\text{Área total fiscalizada}}$$

Este coeficiente demuestra el porcentaje de área identificada con necesidad de mantenimiento geotécnico preventivo, donde se evidencia que para el año 2022 se detectó zonas con necesidad de mantenimiento en un área total del 1 648 656 m² que equivale a un 4.3% del área efectiva fiscalizada haciendo uso de la metodología de fiscalización basada en riesgos y tecnología de inmersión.

Figura 66: Área involucrada en acciones de mantenimiento preventivo



Fuente: Base de datos – OSINERGMIN – UTDGN

Por lo tanto:

Tabla 35: Indicador - Área Efectiva de Mantenimiento Preventivo

Antes	Después
Ejecución de obras de mantenimiento en un 100% de lo planificado.	Ejecución de obras de mantenimiento en un 104.5% de lo planificado, esto con el fin de incluir trabajos de mantenimiento preventivos identificados en zonas de riesgo.

Fuente: Base de datos – OSINERGMIN - UTDGN

10.4. Disminución de área potencial de impacto ambiental

La Metodología de Fiscalización Basada en Riesgos ha permitido ejecutar obras en un 4.5% adicional respecto de las áreas que inicialmente no estaban consideradas en el mantenimiento de los agentes fiscalizados, esto se traduce en un área en la cual se evitó un impacto negativo sobre el medio ambiente. En ese sentido, se ha estimado que el área evitada de impacto ambiental durante el año 2022 corresponde a 267 711.25 m², visualizándose la evolución mes a mes en la Figura 67 de la presente tesis.

Por lo tanto:

Tabla 36: Indicador - Disminución de área potencial de impacto ambiental

Antes	Después
El área de impacto ambiental durante el 2022 hubiera correspondido a un total de 267 711.25 m ² .	El área evitada de impacto ambiental durante el 2022 correspondió a un total de 267 711.25 m ² .

Fuente: Base de datos – OSINERGMIN - UTDGN



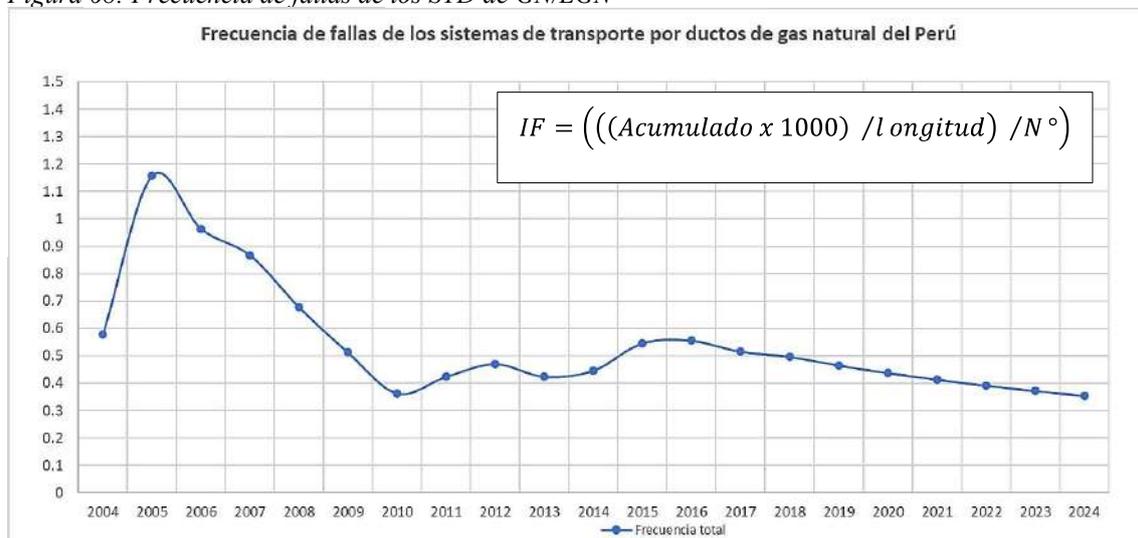
Figura 67: Disminución de área potencial de impacto ambiental



10.5. Frecuencia de fallas del Sistema de Transporte de GN/LGN

En relación al anterior indicador, las acciones de mantenimiento tuvieron un efecto en la reducción de la frecuencia de fallas de los sistemas de transporte por ductos de GN y LGN, teniendo como ultimo registro de falla en el año 2018, desde el cual se intensificó la investigación y aplicación de la metodología de fiscalización basada en riesgos.

Figura 68: Frecuencia de fallas de los STD de GN/LGN



Fuente: Base de datos – OSINERGMIN – UTDGN



CONCLUSIONES

- Los parámetros geotécnicos que se aplicaron en la metodología de fiscalización geotécnica basada en riesgos son: el clima (lluvia) que tiene una importancia de 31.54%, fuerzas externas con una importancia de 27.54%, pendientes del terreno con una importancia de 20.46 %, estudios Geológicos/Geotécnicos con una importancia de 11.67 % y monitoreo Geotécnico con una importancia de 8.67%.
- La priorización obtenida mediante el análisis multicriterio de los parámetros geotécnicos utilizados en la metodología de fiscalización geotécnica basada en riesgos, son tres: prioridad 1, prioridad 2 y prioridad 3. de los cuales para el tramo del KP 181+000 al KP 183+500 se obtuvo una prioridad 2 y para el tramo del KP 183+500 al 185+000 se obtuvo una prioridad 1.
- Los parámetros en los que se interviene con el uso de la tecnología de inmersión en la fiscalización geotécnica son: el desplazamiento humano al lograr su reducción, experiencia de fiscalización al permitir realizar un análisis en tiempo real, perspectiva de fiscalización al permitir un análisis geotécnico desde ángulos y alturas imposibles de alcanzar en persona, capacidad de ampliación óptica al permitir una visualización aérea de mayor amplitud y control de los factores externos al permitir evitar los reflejos, polvo y otros obstáculos.
- Los indicadores principales que muestran los resultados obtenidos de la aplicación de la metodología de fiscalización geotécnica basada en riesgos y tecnología de inmersión son:
 - el área efectiva fiscalizada, con el cual se demostró el incremento del 418,57% haciendo uso de la metodología de fiscalización basada en riesgos y del 744.05% haciendo uso de la metodología conjuntamente con la tecnología de inmersión.
 - Costos de fiscalización por área efectiva, el cual demostró la reducción de los costos en un 82% haciendo uso de la metodología de fiscalización basada en riesgos y del 94.48% haciendo uso de la metodología conjuntamente con la tecnología de inmersión.
 - Área efectiva de mantenimiento preventivo, con el cual se evidenció el incremento de mantenimiento preventivo en 4.28%.
 - Área potencial de impacto ambiental, el cual se redujo al aumentar el área efectiva de mantenimiento preventivo, logrando alcanzar reducir el impacto ambiental en un área de 267 711.25 m².
 - Índice de frecuencia de fallas, el cual mediante su análisis histórico demuestra que la aplicación de estas nuevas metodologías y tecnologías en la fiscalización, la frecuencia de fallas se redujo, contando actualmente con un índice de frecuencia de fallas de 0.35, valor que se encuentra por encima del índice de Canadá que fue de 0.10 hasta el año 2008, o similar al índice de Europa que fue 0.35 hasta el año 2010.



RECOMENDACIÓN

En base a los resultados obtenidos mediante esta investigación, los cuales demostraron que la aplicación de esta metodología y tecnología impactan positivamente en la gestión de la fiscalización de los sistemas de transporte por ductos.

Se recomienda profundizar el análisis multicriterio y aplicarlo a los descriptores identificados para cada uno de los parámetros geotécnicos usados en el presente estudio, ya que esto podría contribuir enormemente en mejorar los resultados obtenidos en la priorización de los distintos tramos considerados para su fiscalización geotécnica.



REFERENCIAS

- Asociación Regional de Empresas del Sector Petroleo, Gas y Biocombustibles en Latinoamérica y El Caribe, ARPEL (2016). Guía Monitoreo e inspección en la gestión de integridad de ductos frente a las geoamenazas.
- Asociación Regional de Empresas del Sector Petroleo, Gas y Biocombustibles en Latinoamérica y El Caribe, ARPEL (2015). Manual de Referencia ARPEL para la Gestión de la Integridad de Ductos.
- Bernal, C. A. (2022). Metodología de la investigación: Para administración, economía, humanidades y ciencias sociales (6ª ed.). Pearson
- Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción del Riesgo de Desastres, CENEPRED (2014). Manual para la Evaluación de Riesgos Originados por Fenómenos Naturales – 2da Versión. Lima-Perú.
- City of Knoxville (2018). The Knoxville Best Management Practice Manual.
- Creswell, J. W. (2015). Research Design: Qualitative, Quantitative, and Mixed Methods Approaches (4ª ed.). SAGE Publications.
- División de Supervisión de Gas Natural (Editor) (2023). Boletín Estadístico Procesamiento, Producción y Transporte de Gas Natural 2do Trimestre 2023. Osinergmin. Lima-Perú.
- Empresa Colombiana de Petróleos, Ecopetrol (1997). Normas de Ingeniería de Oleoductos
- Gonzales L., Ferrer M., Ortuño L. y Oteo C. (2002). Ingeniería Geológica
- Gutierrez E., Lopez R., Pilares A. y Unzueta J. (2023). Risk-Based inspection methodology and the use of real-time immersive technology in natural gas and/or natural gas liquids pipeline transportation systems from an inspector's perspective
- Guzmán A. y Rivera M. (2002) Estudio de geodinámica externa en las progresivas Km 80 al 140 del gasoducto de Camisea. INGEMMET. Lima-Perú.
- Hernández R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, P. (2022). Metodología de la investigación (7ª ed.). McGraw-Hill.



- Mendoza, Jaime; Salvador, Julio; De la Cruz, Ricardo; Zurita, Víctor y Llerena, Melissa (Editores) (2021). La industria del gas natural en el Perú. Mirando al Bicentenario y perspectivas recientes. Osinergmin. Lima-Perú.
- Ramonell C. y Amsler M. (2005). Avulsión y Rectificación de Meandros: Consideraciones para su Predicción.
- Ravet F. (2016). Una década de monitoreo geotécnico de ductos utilizando el monitoreo distribuido por fibra óptica
- Rhode Island State Conservation committee, CSS (2016). Rhode Island Soil Erosion and Sediment Control Handbook
- Robles J. (2019). Población en áreas vulnerables y política de gestión de riesgo: El caso del transporte de gas natural por ductos
- Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (2021). Climas del Perú Mapa de Clasificación Climática Nacional. SENAMHI. Lima-Perú.
- Suárez J. (2001). Control de Erosión en Zonas Tropicales
- Tamayo, Jesús; Salvador, Julio; Vásquez, Arturo; y García Raúl (Editores) (2014). La industria del gas natural en el Perú. A diez años del Proyecto Camisea. Osinergmin. Lima-Perú.
- Tamayo y Tamayo, M. (2004). El proceso de la investigación científica. Limusa
- The American Society of Mechanical Engineers, ASME (2022). Gas transmission and Distribution Piping Systems
- The American Society of Mechanical Engineers, ASME (2022). Managing System Integrity of Gas Pipelines
- The American Society of Mechanical Engineers, ASME (2022). Pipeline Transportation Systems for Liquids and Slurries
- The International Centre for Integrated Mountain Development, ICIMOD (2012). Resource Manual on Flash Flood Risk Management
- Transportadora de Gas del Perú, TGP (2009). Sistema de Transporte de GN y LGN de Camisea. Recuperado el 07 de marzo de 2023, de <https://static1.squarespace.com/static/52d71403e4b06286127a1d48/t/532384f4e>



4b0182e183cbe5c/1394836724611/LuisSotelo_TgP_integridad_de_ductos_Cam
isea.pdf

Urteaga C. (2017). Estabilización de Talud con Sistema ErdoX en Taludes de Carreteras

Yara C. y Torres J. (2018). Seguimiento y Análisis de los Procesos de Instrumentación para el Monitoreo y Control Geotécnico del Fenómeno de Remoción en Masa del Sector Altos de La Estancia.

Yasksetig J. (2011). Análisis de la integridad mecánica de un tramo de oleoducto afectado por un fenómeno geodinámico.



ANEXOS



“APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA DE FISCALIZACIÓN GEOTÉCNICA BASADA EN RIESGOS Y TECNOLOGÍA DE INMERSIÓN EN LOS SISTEMAS DE TRANSPORTE POR DUCTOS DE GAS NATURAL DEL PERÚ – 2022”



TÍTULO: “APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA DE FISCALIZACIÓN GEOTÉCNICA BASADA EN RIESGOS Y TECNOLOGÍA DE INMERSIÓN EN LOS SISTEMAS DE TRANSPORTE POR DUCTOS DE GAS NATURAL DEL PERÚ – 2022”

<p>ANEXO A: Matriz de consistencia MARCO TEORICO</p>	<p>AUTOR: LUCANA ALVAREZWIN KEVIN PROBLEMA</p>	<p>OBJETIVOS</p>	<p>HIPÓTESIS</p>	<p>METODOLOGÍA</p>
<p>2.1.1 Antecedentes internacionales</p> <p>La norma ASME B31.8, establece requisitos, procedimientos, pautas, recomendaciones y buenas prácticas para la estandarización del diseño, construcción y mantenimiento de sistemas de tuberías a presión de forma segura.</p> <p>La norma ASME B31.8S, prioriza estándares de fiscalización entendiendo conceptos básicos de integridad.</p> <p>2.1.2 Antecedentes nacionales</p> <p>La investigación “Una década de monitoreo geotécnico de ductos utilizando el monitoreo distribuido por fibra óptica”, resalta que las condiciones naturales en el recorrido de las trazas de los ductos como el clima y otros aumentan la probabilidad de falla, por cambios en las propiedades del suelo de forma natural. (Kavet F., 2016).</p> <p>La tesis de maestría “análisis de la integridad mecánica de un tramo de oleoducto afectado por un fenómeno geodinámico”, demuestra que las causas de falla de mayor porcentaje son las causas por daños externos siendo un 58%. (Yasksetig, 2011).</p> <p>El artículo científico “metodología de supervisión basada en riesgos y uso de tecnología inmersiva en tiempo real en los sistemas de transporte por ductos de gas natural y/o líquidos de gas natural desde la perspectiva de un regulador” brinda un criterio de aceptabilidad para la priorización de zonas con mayor riesgo para su fiscalización. (E. Gutierrez, R. Lopez, A. Pillares, J Unzueta, 2023)</p> <p>2.1.3 Antecedentes locales</p> <p>La tesis “Diseño de la Red Troncal del Proyecto: Sistema Integrado de Transporte de Gas - Zona Sur del Perú”, describe un diseño técnico basándose en el proyecto “Mejoras a la seguridad energética del país y desarrollo del gasoducto sur peruano”, mediante el uso del simulador Aspen Hysys. (Benavides y Arrollo, 2024)</p>	<p>Descripción del problema</p> <p>La matriz de consumo de energía en el Perú, nos muestra un incremento marcado en el consumo de Gas Natural desde el año 2004, por lo tanto, es imprescindible garantizar su calidad y continuidad en su transporte.</p> <p>Desde la perspectiva geográfica, los sistemas de transporte por ductos de gas natural en el Perú recorren costa, sierra y selva, enfrentándose a diversas condiciones climáticas, variados ángulos de talud, presencia de fallas geológicas, cruces con cursos de agua, entre otros, los cuales están vinculados a procesos geológicos que pueden afectar su adecuado funcionamiento, dando lugar a fallos mecánicos en los ductos y por consecuencia producir interrupciones en el transporte de gas natural.</p> <p>Los registros de fallos mecánicos de los sistemas de transporte por ductos de gas natural en el Perú nos muestran que el 50% tuvieron un origen relacionado al clima y fuerzas externas.</p> <p>En ese sentido, es necesario el uso de nuevos métodos más eficientes y eficaces, que usen parámetros geotécnicos y tecnologías innovadoras que intervengan directamente en la gestión de la fiscalización geotécnica de sistemas de transporte por ductos de gas natural, logrando tener un impacto positivo.</p> <p>Formulación del problema</p> <p>Problema general</p> <p>¿Cuáles son los resultados de la aplicación de la metodología de fiscalización geotécnica basada en riesgos y tecnología de inmersión en los Sistemas de Transporte por Ductos de Gas Natural del Perú?</p> <p>Problemas específicos</p> <ul style="list-style-type: none"> • ¿Cuáles son los parámetros geotécnicos que se aplicaron en la metodología de fiscalización geotécnica basada en riesgos? • ¿Cuál es la priorización obtenida del análisis multicriterio de los parámetros utilizados en la metodología de fiscalización geotécnica basada en riesgos? • ¿Cuáles son los parámetros en los que se intervienen con el uso de la tecnología de inmersión en la fiscalización geotécnica? • ¿Cuáles serán los indicadores que muestren los resultados obtenidos de la aplicación de la metodología de fiscalización geotécnica basada en riesgos por ductos de gas natural? 	<p>Objetivo general</p> <ul style="list-style-type: none"> • Determinar los resultados de la aplicación de la metodología de fiscalización geotécnica basada en riesgos y tecnología de inmersión en los sistemas de transporte por ductos de gas natural. <p>Objetivos específicos</p> <ul style="list-style-type: none"> • Identificar los parámetros geotécnicos que se aplicaran en la metodología de fiscalización geotécnica basada en riesgos • Determinar la priorización obtenida mediante el análisis multicriterio de los parámetros geotécnicos utilizados en la metodología de fiscalización geotécnica basada en riesgos • Identificar los parámetros en los que se intervienen con el uso de la tecnología de inmersión en la fiscalización geotécnica • Establecer los indicadores que muestren los resultados obtenidos de la aplicación de la metodología de fiscalización geotécnica basada en riesgos y tecnología de inmersión en los sistemas de transporte por ductos de gas natural en el Perú 	<p>Hipótesis general</p> <ul style="list-style-type: none"> • Los resultados de la aplicación de la metodología de fiscalización geotécnica basada en riesgos y tecnología de inmersión en los sistemas de transporte por ductos de gas natural del Perú tendrán un impacto positivo en la gestión de las actividades de fiscalización mejorando su eficiencia y eficacia. <p>Hipótesis específica</p> <ul style="list-style-type: none"> • Los parámetros geotécnicos que se aplicaran en la metodología de fiscalización geotécnica basada en riesgos deberán ser amplios y contemplar aquellas actividades que tienen relación directa entre la fiscalización y geotecnia. • Mediante el análisis multicriterio de los parámetros geotécnicos utilizados en la metodología de fiscalización geotécnica basada en riesgos se determinará la priorización de los tramos del sistema de transporte por ductos de gas natural. • Se identificarán parámetros en los que se intervienen con el uso de la tecnología de inmersión en la fiscalización geotécnica, los cuales serán positivos. • Los indicadores establecidos demostrarán los resultados positivos de la aplicación de la metodología de fiscalización geotécnica basada en riesgos y tecnología de inmersión en los sistemas de transporte por ductos de gas natural en el Perú. 	<p>Tipo de investigación:</p> <ul style="list-style-type: none"> • la presente tesis es aplicada, debido a que se utilizarán y aplicarán conocimientos geológicos/geotécnicos en la planificación de acciones de fiscalización de sistemas de transportes por ductos. <p>Diseño de investigación</p> <ul style="list-style-type: none"> • La presente tesis es no experimental por que se describen las características geotécnicas tal como ocurren y sin manipulación de variables <p>Nivel de investigación</p> <ul style="list-style-type: none"> • la presente tesis es Descriptiva, debido a que se realiza el reconocimiento y descripción de las distintas situaciones identificadas en los sistemas de transporte por ductos en relación a la causa y efecto. <p>Enfoque de investigación</p> <ul style="list-style-type: none"> • La presente tesis tiene un enfoque mixto por que se toman datos cuantitativos y cualitativos para tener una visión más amplia.



ANEXO B: Clasificador por objeto del gasto

Para un mejor entendimiento de los costos aproximados para la ejecución del presente trabajo de investigación, se hace uso de la herramienta de gestión financiera “Clasificador por objeto del gasto”, con el cual se detallan los siguientes gastos:

Gasto estimado por fiscalizador:

Clasificación COG 2022	Concepto	Descripción	Monto estimado por 5 días
2.1.1.1.1	Honorarios del Supervisor	Pago por servicios del Supervisor Senior	116/0
2.3.1.1.2	Pasajes Aéreos (Ida y vuelta)	Pasajes aéreos nacionales	
2.3.2.1.1	Viáticos - Alimentación	Gastos de alimentación	
2.3.2.1.2	Viáticos - Hospedaje	Hospedaje	
2.3.2.8.1	Otros Gastos Administrativos	Gastos imprevistos u otros servicios no clasificados	
2.3.2.4.1	Movilidad Local (Alquiler camioneta)	Traslado de supervisor	3000
TOTAL ESTIMADO POR FISCALIZACIÓN			14670

Gasto estimado por uso de tecnología de inmersión:

Clasificación COG 2022	Concepto	Descripción	Monto estimado por 2 días
2.1.1.1.1	Honorarios del piloto	Pago por servicios del piloto	3000
2.3.2.4.1	Uso de RPAS (Alquiler dron + FPV)	Uso de tecnología de inmersión	
2.3.1.1.2	Pasajes Aéreos (Ida y vuelta)	Pasajes aéreos nacionales	600
2.3.2.1.1	Viáticos - Alimentación	Gastos de alimentación	300
2.3.2.1.2	Viáticos - Hospedaje	Hospedaje	150
2.3.2.8.1	Otros Gastos Administrativos	Gastos imprevistos u otros servicios no clasificados	150
2.3.2.4.1	Movilidad Local (Alquiler camioneta)	Traslado de piloto	1000
TOTAL ESTIMADO POR FISCALIZACIÓN			5200

Gasto estimado por tesista:

Clasificación COG 2022	Concepto	Descripción	Monto estimado por 5 días
2.1.1.1.1	Honorarios de tesista	honorarios	1800
2.3.2.1.1	Viáticos - Alimentación	Gastos de alimentación	
2.3.2.1.2	Viáticos - Hospedaje	Hospedaje	
2.3.2.8.1	Otros Gastos Administrativos	Gastos imprevistos u otros servicios no clasificados	600
2.3.1.1.2	Pasajes Aéreos (Ida y vuelta)	Pasajes aéreos nacionales	
TOTAL ESTIMADO POR FISCALIZACIÓN			2400

Por lo tanto, el gasto estimado para una acción de fiscalización en campo es:

Costo por supervisión

22270

Considerando tres acciones de fiscalización en campo para la obtención de datos para el presente trabajo de investigación, el gasto estimado es el siguiente:

COSTO TOTAL

66810

Aclarar que estos costos son referenciales, ya que se necesita un ajuste de acuerdo al lugar de fiscalización, días de fiscalización, proveedores, tarifas actuales y otros contextos específicos.



ANEXO C: Ejemplo de hoja de cálculo de priorización por la MFBR

ANALIZAR - EVALUAR EL NIVEL DE LOS RIESGOS PARA DETERMINAR PRIORIDAD

Ítem	LISTADO DE COMPONENTES A SER SUPERVISADOS						Parámetros geotécnicos						PRIORIDAD				
	Agente	Unidad Fiscalizada	Zona Geográfica	Componente	Descripción	Clima (Lluvia)	Fuerzas Externas existentes (Movimientos en masa)		Ruta del DDV en función de la Pendiente del terreno		Estudios Geológicos/ Geotécnicos		Frecuencia en el Monitoreo Geotécnico		Índice	Prioridad	
							D	Peso	D	Peso	D	Peso	D	Peso			D
1	A	STD de GN/LGN	Costa	Componente 1	Componente 1	D1	0,032	D2	0,069	D1	0,020	D2	0,029	D1	0,009	0,159	3
2	A	STD de GN/LGN	Costa	Componente 1A	Componente 1A	D2	0,079	D2	0,069	D2	0,051	D2	0,029	D1	0,009	0,237	3
3	A	Ducto principal	Costa	Componente 2	Componente 2	D3	0,158	D2	0,069	D2	0,051	D2	0,029	D2	0,022	0,329	3
4	B	STD de GN/LGN	Costa	Componente 2A	Componente 2A	D2	0,079	D2	0,069	D1	0,020	D2	0,029	D1	0,009	0,206	3
5	B	STD de GN/LGN	Sierra	Componente 2B	Componente 2B	D3	0,158	D2	0,069	D3	0,102	D1	0,012	D2	0,022	0,363	2
6	C	Flowline	Selva	Flowline 1	Flowline 1	D5	0,315	D3	0,138	D3	0,102	D2	0,029	D2	0,022	0,607	1
7	C	STD de GN/LGN	Sierra	Componente 3	Componente 3	D5	0,315	D1	0,028	D2	0,051	D2	0,029	D2	0,022	0,445	2
8	C	STD de GN/LGN	Sierra	Componente 3A	Componente 3A	D3	0,158	D2	0,069	D3	0,102	D1	0,012	D1	0,009	0,349	3
9	D	Ducto principal	Costa	Componente 4	Componente 4	D2	0,079	D2	0,069	D1	0,020	D2	0,029	D1	0,009	0,206	3
10	D	Flowline	Selva	Flowline 2	Flowline 2	D4	0,237	D2	0,069	D3	0,102	D2	0,029	D2	0,022	0,459	2
11	E	STD de GN/LGN	Selva	Componente 5	Componente 5	D5	0,315	D2	0,069	D1	0,020	D3	0,058	D3	0,044	0,507	2
12	E	STD de GN/LGN	Selva	Componente 5A	Componente 5A	D5	0,315	D3	0,138	D2	0,051	D3	0,058	D3	0,044	0,607	1
13	F	STD de GN/LGN	Selva	Componente 5B	Componente 5B	D5	0,315	D4	0,207	D3	0,102	D3	0,058	D3	0,044	0,727	1
14	F	STD de GN/LGN	Sierra	Componente 6	Componente 6	D5	0,315	D2	0,069	D1	0,020	D3	0,058	D3	0,044	0,507	2
15	F	STD de GN/LGN	Sierra	Componente 6A	Componente 6A	D3	0,158	D3	0,138	D3	0,102	D1	0,012	D1	0,009	0,418	2