



UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER

ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

**PRÁCTICA EMPRESARIAL EN EL ÁREA GEOTÉCNICA PARA LA
PREVENCIÓN DE DAÑOS OCASIONADOS POR EVENTOS NATURALES EN
TUBERÍAS DE GASODUCTOS.**

DIEGO ARMANDO RAMÍREZ FLÓREZ

Código: 2042685



**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
BUCARAMANGA**

2011



UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER

ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

**PRÁCTICA EMPRESARIAL EN EL ÁREA GEOTÉCNICA PARA LA
PREVENCIÓN DE DAÑOS OCASIONADOS POR EVENTOS NATURALES EN
TUBERÍAS DE GASODUCTOS.**

DIEGO ARMANDO RAMÍREZ FLÓREZ

Trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero Civil.



Director del proyecto de grado

WILFREDO DEL TORO

Docente de Planta Escuela de Ingeniería Civil - U.I.S.

Director de la práctica

Ingeniero JORGE ENRIQUE JIMÉNEZ S.

Profesional geotecnista de TGI S.A. E.S.P.

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
BUCARAMANGA**

2011



Este trabajo va dedicado a mis padres Ana Inés y Carlos y a toda mi familia, en especial y mi abuela Anita Ochoa y a mi tía Ana Francisca que en paz descanse.



AGRADECIMIENTOS

A mi madre Ana Inés Flórez y a mi padre Carlos Ramírez por todo el amor, el apoyo, el sacrificio y sobre todo la oportunidad que me dieron de estudiar esta carrera profesional.

A mi director de proyecto el ingeniero Wilfredo Del Toro, quien sin dudar un solo instante me brindó todo su apoyo, sabiduría y colaboración para hacer de este trabajo de grado una realidad.

A todos mis maestros de carrera gracias por los conocimientos y consejos transmitidos que aportaron a mi formación profesional y personal.



CONTENIDO

	pág.
INTRODUCCIÓN	19
1. TRANSPORTADORA DE GAS INTERNACIONAL TGI SA. ESP.	21
2. ALIMENTACIÓN DEL MÓDULO AMBIENTAL Y GEOTECNIA DEL SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA.	22
2.1 CARACTERÍSTICAS DEL MÓDULO AMBIENTAL Y GEOTECNIA	23
2.1.1 Generales	23
2.1.1.1 Submódulo Histórico y Geotecnia	24
2.1.1.2 Submódulo seguimiento ambiental y geotecnia	25
2.1.1.3 Submódulo estudios ambientales y geotécnicos	26
3. DESARROLLO DE LA PRÁCTICA EMPRESARIAL	28
3.1 FUNCIONES Y RESPONSABILIDADES	28
3.1.1 Alimentación y seguimiento al sistema de información geográfica para el área de geotecnia	28
3.1.2 Participación en el área administrativa de geotecnia	29
3.1.2.1 Elaboración de Fichas Técnicas	29
3.1.2.2 Elaboración de Especificaciones Técnicas	30
3.1.2.3 Elaboración del cuadro de descripción de eventos geotécnicos	31
3.1.2.4 Cálculo de presupuestos	32



3.1.2.5	Revisión y seguimiento a contratos en ejecución	32
4.	EVENTOS NATURALES CAUSANTES DE INESTABILIDAD EN LOS DERECHOS DE VÍA	33
4.1	MOVIMIENTOS DEL TERRENO	33
4.1.1	Deslizamientos en masa	34
4.1.1.1	Deslizamientos Rotacionales	35
4.1.1.2	Deslizamientos traslacionales	36
4.1.2	Reptación o “Creep”	37
4.1.3	Flujos	38
4.2	EROSIÓN	38
4.2.1	Erosión por escorrentía	39
4.2.2	Erosión Fluvial	40
4.2.3	Erosión interna	41
4.2.4	Erosión Pluvial	42
5.	DAÑOS SOBRE LAS TUBERÍAS DE GASODUCTOS	43
5.1	DEFORMACIÓN DE LA LÍNEA DEL GASODUCTO	43
5.2	AFLORAMIENTO	43
5.3	ABOLLADURAS EN LA TUBERÍA	44
5.4	OXIDACIÓN DE LA TUBERÍA	45
5.5	RUPTURA DEL GASODUCTO	45
6.	OBRAS GEOTÉCNICAS IMPLEMENTADAS	46
6.1	OBRAS DE CONTENCIÓN	46



6.1.1	Muros en gaviones	47
6.1.2	Pilotes	48
6.1.3	Muros rígidos	48
6.2	OBRAS DE DRENAJE SUPERFICIAL Y SUB-SUPERFICIAL	49
6.2.1	Canales	49
6.2.2	Cortacorrientes	51
6.2.3	Filtros geodrem	52
6.2.4	Filtros horizontales	53
6.3	OBRAS DE PROTECCIÓN DE MÁRGENES DE LOS RÍOS	55
6.3.1	Muros en gaviones para la protección de la margen contra la socavación	55
6.3.2	Espolones para la protección de la margen contra la socavación	56
6.4	OBRAS DE VEGETALIZACIÓN DEL TERRENO	57
6.4.1	Revegetalización	58
6.4.2	Reforestación	58
6.5	OBRAS DE ELUCIÓN DEL EVENTO	59
6.5.1	Variantes	59
6.5.2	Pasos elevados de tubería	59
7.	LIBROS EN EXCEL PARA DISEÑAR OBRAS GEOTÉCNICAS	61
7.1	DISEÑO DE MUROS DE CONTENCIÓN EN GAVIONES	61
7.1.1	Alcance	61
7.1.2	Manejo	63
7.1.2.1	Hoja 1-Cálculo de empujes	63



7.1.2.1.1	Ingreso de datos	63
7.1.2.1.2	Resultados	67
7.1.2.2	Hoja 2 - Diseño muro	69
7.1.2.2.1	Ingreso de datos	69
7.1.2.2.2	Resultados	69
7.1.3	Detalles del libro en Excel	73
7.2	DISEÑO DE PASOS ELEVADOS DE GASODUCTOS	77
7.2.1	Alcance	77
7.2.2	Manejo	78
7.2.2.1	Hoja 1- Tensión cables	78
7.2.2.1.1	Ingreso de datos y análisis de resultados	78
7.2.2.2	Hoja 2 – Cimentaciones	87
7.2.2.2.1	Diseño de los muertos de anclaje – Ingreso de datos y análisis de resultados	87
7.2.2.2.2	Diseño de cimentación de las torres – Ingreso de datos y análisis de resultados	91
7.2.3	Detalles del libro en Excel	96
7.3	DISEÑO DE CANALES PARA ESCORRENTIA SUPERFICIAL	99
7.3.1	Alcance	99
7.3.2	Manejo	99
7.3.3	Detalles del la hoja de cálculo	106
	CONCLUSIONES	108
	BIBLIOGRAFÍA	110



LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1. Vista general del sistema del SIG.	22
Figura 2. Módulos del SIG de TGI S.A. E.S.P.	23
Figura 3. Submódulo Histórico y Geotecnia	24
Figura 4. Submódulo seguimiento ambiental y geotecnia	25
Figura 5. Submódulo estudios ambientales y geotécnicos	26
Figura 6. Modelo ficha técnica	29
Figura 7. Cuadro de descripción de eventos geotécnicos	31
Figura 8. Dimensiones de los deslizamientos en masa	34
Figura 9. Deslizamiento en masa en el derecho de vía.	34
Figura 10. Afloramiento de la tubería debido a un deslizamiento rotacional	35
Figura 11. Deslizamiento traslacional	36
Figura 12. Tubería afectada por un movimiento de reptación	37
Figura 13. Derecho de vía erosionado	38
Figura 14. Cárcava en derecho de vía genera por la escorrentía	39
Figura 15. Tubería destapada por la erosión fluvial	40
Figura 16. Esquema de Tubería abollada	44
Figura 17. Canal trapezoidal en concreto	50



Figura 18.	Canal trapezoidal en piedra pegada	50
Figura 19.	Tipos de cortacorrientes	52
Figura 20.	Filtro geodrem	53
Figura 21.	Disposición de drenes horizontales	54
Figura 22.	Gaviones en la margen del río para evitar la socavación	55
Figura 23.	Espolón	56
Figura 24.	Reforestación del derecho de vía	58
Figura 25.	Esquema paso aéreo de gasoducto	60
Figura 26.	Dimensiones de la canasta rectangular de los gaviones para los cuales aplica la hoja de cálculo	62
Figura 27.	Configuraciones geométricas para las cuales aplica la hoja de cálculo para gaviones	62
Figura 28.	Diseño de gaviones- Ingreso de datos, parámetros generales del muro en gaviones	63
Figura 29.	Diseño de gaviones - Esquema representativo del problema	64
Figura 30.	Diseño de gaviones - Parámetros propios de cada suelo	65
Figura 31.	Diseño de gaviones – Ejemplo para modelar un relleno conformado por un solo tipo de suelo	67
Figura 32.	Diseño de gaviones – Empujes totales	68
Figura 33.	Diseño de gaviones – Características del muro	69
Figura 34.	Diseño de muros – Cálculo de fuerzas y momentos estabilizantes.	70
Figura 35.	Diseño de muros – Cálculo de fuerzas y momentos desestabilizantes.	70



Figura 36.	Diseño de gaviones – Chequeo por vuelco	71
Figura 37.	Diseño de gaviones – Chequeo por deslizamiento	71
Figura 38.	Diseño de gaviones – Diagrama de cuerpo libre de la cimentación	72
Figura 39.	Diseño de gaviones – Chequeo de la posición de la resultante	72
Figura 40.	Diseño de gaviones – Capacidad del suelo portante	73
Figura 41.	Diseño de gaviones – Diagrama de cuerpo libre	75
Figura 42.	Diseño paso elevado de gasoducto – Esquema paso aéreo	77
Figura 43.	Diseño paso elevado de gasoducto – Parámetros generales de la estructura	78
Figura 44.	Diseño paso elevado de gasoducto – Características de la tubería	80
Figura 45.	Diseño de paso elevado de gasoducto – Cálculo de la carga muerta	80
Figura 46.	Diseño de paso elevado de gasoducto – Cálculo de la carga viva	81
Figura 47.	Diseño de paso elevado de gasoducto – Cálculo de la carga por viento	81
Figura 48.	Diseño de paso elevado de gasoducto – Cálculo de la carga última	82
Figura 49.	Diseño de paso elevado de gasoducto – Cálculo de la tensión máxima en el cable principal debido a W_u	83
Figura 50.	Diseño de paso elevado de gasoducto – Predimensionamiento cable principal	83
Figura 51.	Diseño de paso elevado de gasoducto – Diseño pendolones	84
Figura 52.	Diseño de paso elevado de gasoducto – Tensión por temperatura del cable principal	85



Figura 53.	Diseño de paso elevado de gasoducto – Tensión máxima horizontal en el cable principal producida por todas las cargas	86
Figura 54.	Diseño de paso elevado de gasoducto – Tensión máxima y resistencia del cable principal	86
Figura 55.	Diseño del muerto de anclaje – Propiedades de la cimentación	87
Figura 56.	Diseño del muerto de anclaje – Características del concreto	88
Figura 57.	Diseño del muerto de anclaje – Dimensiones del muerto de anclaje	88
Figura 58.	Diseño del muerto de anclaje – Chequeo por vuelco y por deslizamiento	89
Figura 59.	Diseño del muerto de anclaje – Refuerzo perimetral	90
Figura 60.	Diseño base de las torre – Esquema general	92
Figura 61.	Diseño base de las torre – Dimensiones de la cimentación	92
Figura 62.	Diseño base de las torre – Vista en planta	93
Figura 63.	Diseño base de la torre – Capacidad portante requerida	93
Figura 64.	Diseño de la base de la torre – Diagrama de cortante	94
Figura 65.	Diseño de la base de la torre – Chequeo por cortante	94
Figura 66.	Diseño base de la torre – Refuerzo principal	95
Figura 67.	Paso elevado de gasoducto – Representación gráfica del cable principal visto como una parábola	96
Figura 68.	Diseño de canales – Parámetros del área a drenar	99
Figura 69.	Diseño de canales – Tiempo de concentración de la lluvia	100
Figura 70.	Diseño de canales – Cálculo del caudal de diseño	101



Figura 71.	Diseño de canales – Parámetros del canal	102
Figura 72.	Diseño de canal – Sección transversal del canal	103
Figura 73.	Ubicación de el complemento Solver de Excel	103
Figura 74.	Diseño de canal – Parámetros de Solver	104
Figura 75.	Diseño de canales – Chequeo de la velocidad	105



GLOSARIO

DERECHO DE VÍA (DDV): es el corredor o franja del terreno que alberga la tubería del gasoducto sobre el cual existe una reglamentación que limita su uso para ciertas actividades con el fin de no poner en riesgo la integridad de la tubería. Se habla de derechos de vía compartidos (DDVC) cuando derechos de vía de distintas líneas de transporte de hidrocarburos (oleoductos, poliductos o gasoductos) se superponen o están relativamente cercanos.

GEOTECNIA: especialidad de la ingeniería civil y de la geología que estudia el comportamiento del suelo bajo la intervención de cualquier tipo de obra civil.

EVENTO: hecho o circunstancia que puede o está ocasionando inestabilidad en el corredor del derecho de vía y/o sus áreas de influencia.

SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA (SIG): herramienta electrónica que permite almacenar, manipular y analizar información geográficamente referenciada con el fin de resolver problemas complejos de planeación o gestión



RESUMEN

TÍTULO

PRÁCTICA EMPRESARIAL EN EL ÁREA GEOTÉCNICA PARA LA PREVENCIÓN DE DAÑOS OCASIONADOS POR EVENTOS NATURALES EN TUBERÍAS DE GASODUCTOS.*

AUTOR

DIEGO ARMANDO RAMÍREZ FLÓREZ**

PALABRAS CLAVES

Geotecnia, Integridad de los Gasoductos, Hojas de cálculo, Muros en gaviones, Obras de drenaje superficial, Pasos elevados de gasoducto.

DESCRIPCIÓN

Mantener el flujo constante de gas es de suma importancia para no ocasionar perjuicios sobre los clientes y también para garantizar la seguridad de los habitantes que viven cerca a una línea de gasoducto. Por tal razón es fundamental el mantenimiento de los derechos de vía con obras geotécnicas cuyo objetivo es disminuir o desaparecer cualquier riesgo sobre la integridad del gasoducto.

Dichas obras geotécnicas para mantener la integridad de las tuberías de gas propias de TGI S.A. E.S.P en su mayoría son dimensionadas empíricamente por profesionales con alta experiencia en el campo de la *geotecnia*. Esta metodología genera incertidumbres pues no se conocen los factores de seguridad con los que se está trabajando y genera sobrecostos cuando la obra no cumple con la función para la cual fue construida o cuando queda sobredimensionada.

El objetivo general de esta tesis de grado fue colaborar en el diseño de obras geotécnicas típicas para la protección de tuberías de gasoductos aplicando métodos científicos, la norma sismo resistente colombiana y utilizando el programa Excel.

Para cumplir este objetivo se identificaron los eventos naturales más frecuentes que afectan la *integridad de los gasoductos*, los daños que pueden generar y las soluciones geotécnicas más implementadas. Ya con esto, se elaboraron hojas de cálculo para diseñar científicamente obras geotécnicas muy comunes y cuyo diseño se realizaba empíricamente sin ningún tipo de cálculo ingenieril. Dichas hojas permiten el diseño de *muros en gaviones*, *obras de drenaje superficial* y *pasos elevados de gasoducto* o cualquier otro tipo de tubería.

* Trabajo de grado. Modalidad de práctica empresarial

** Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas. Escuela de Ingeniería Civil. Director: Wilfredo del Toro.



ABSTRACT

TITLE

INTERNSHIP IN THE GEOTECHNICAL AREA FOR THE PREVENTION OF DAMAGES CAUSED BY NATURAL EVENTS IN GAS PIPELINES.*

AUTHOR

DIEGO ARMANDO RAMÍREZ FLÓREZ**

KEYWORDS

Geotechnical, pipeline Integrity, spreadsheets, gabion walls, surface drainage works, flyovers pipeline.

DESCRIPTION

To keep continue with the gas flow in the pipes is the main gold of the gas pipeline, also this keeps the clients passive with the management of the pipes and the safety of the population who lives near of the gas pipeline. Which is very important the geotechnical work that prevents future risk that could affect the humans or the environment.

The geotechnical work which it keeps the rights the good shape of the highway and the quality of the TGI S.A. E.S.P gas pipes it's been executed by professional people expert in geotechnical. This method is very expensive and doesn't recognize the security risk facts.

The objective of this research was to identify the natural events that affect the integrity of the gas pipeline and the geotechnical solutions to use in those cases considering the Colombian seismic rule using scientific methods and the Microsoft Excel Program. Perhaps, it was design a spreadsheet to create of gabion walls, surface drainage works and flyovers pipeline or any other type of pipe. The spreadsheet allows to design walls of gabions, work in progress of superficial drainage, gas pipes or any kind of pipe. The natural's events identifications were very important to check the integrity of the gas pipeline and the resist of it, also the search for specific and determinant solutions.

* Work Degree, Modality Business Practice

** Faculty of Physical-Mechanical Engineering. Civil Engineering School. Director: Wilfredo del Toro.



INTRODUCCIÓN

Debido al descubrimiento de nuevos yacimientos de gas natural en el país este hidrocarburo se ha venido consolidando como el combustible más económico del mercado y su demanda crece constantemente. Hoy en día, cerca de 290 mil vehículos en Colombia han realizado la conversión de gasolina a gas, uniéndose así, a la gran cantidad de hogares e industrias que dependen de éste combustible.

Para mantener el flujo constante de este hidrocarburo y así no ocasionar perjuicios sobre los clientes y también, para garantizar la seguridad de los habitantes que viven cerca a la tubería de gas, es fundamental el mantenimiento de los derechos de vía con obras geotécnicas cuyo objetivo es de disminuir o desaparecer cualquier riesgo sobre la integridad del gasoducto. Dicho mantenimiento debe ser a tiempo puesto que un accidente grave en una línea de gas puede generar incendios y/o explosiones con consecuencias ambientales catastróficas y pérdidas de vidas humanas.

Actualmente el diseño de las obras geotécnicas destinadas a mantener la integridad de las tuberías de los Gasoductos propios de TGI SA. ESP. está a cargo de profesionales con alta experiencia en el campo de la Geotecnia. La mayoría de estas estructuras son dimensionadas por dichos ingenieros sin utilizar ningún cálculo específico, generalmente se basan en conocimientos empíricos (aplicar algo que funcionó en algún evento en el pasado en otro caso semejante) partiendo de diseños genéricos. Si bien, las estructuras construidas utilizando el contexto señalado anteriormente funcionan en gran parte de los casos, en ocasiones suelen quedarse cortas como solución al problema y el riesgo sobre la tubería y la seguridad pública permanece; también y más frecuente aun, estos diseños suelen quedar sobredimensionados lo que genera sobrecostos para la empresa.



Esta problemática de sobrecostos y bajos niveles de seguridad podría disminuir con la aplicación de métodos ingenieriles para el diseño de obras geotécnicas ya que con estos se estaría garantizando la funcionabilidad de las mismas científicamente. Por tal razón, en esta tesis de grado se identificaron los eventos naturales más comunes que ponen en riesgo la integridad de la tubería, los posibles daños sobre las misma y las obras geotécnicas más utilizadas en la práctica para enfrentar dichos eventos y así, se elaboraron en Excel una serie de hojas de cálculo que permiten el diseño de estructuras geotécnicas utilizadas muy a menudo y cuyo diseño se estaba realizando de forma empírica.



1. TRANSPORTADORA DE GAS INTERNACIONAL TGI SA. ESP.

Por medio de un exitoso proceso de enajenación de activos, derechos y contratos en diciembre del año 2006, la Empresa de Energía de Bogotá - EEB adquirió la mayoría accionaria de la transportadora de gas estatal Ecogás y constituyó la naciente Transportadora de Gas Internacional - TGI S.A. ESP. apostándole a consolidar su estrategia de expansión energética a partir del gas como combustible económico, ecológico y con proyección de futuro.

En la actualidad TGI opera la red de gasoducto más extensa e importante de Colombia (3700 kilómetros) que anualmente transporta 374.9 millones de pies cúbicos día en promedio, cifra que demuestra que es la empresa más grande del país en volúmenes transportados.

➤ MISIÓN

TGI S.A E.S.P. una empresa que genera valor al Grupo de Energía de Bogotá y demás accionistas, a través de la prestación del servicio de transporte de hidrocarburos en los niveles nacional e internacional con altos estándares de gestión y responsabilidad social corporativa.

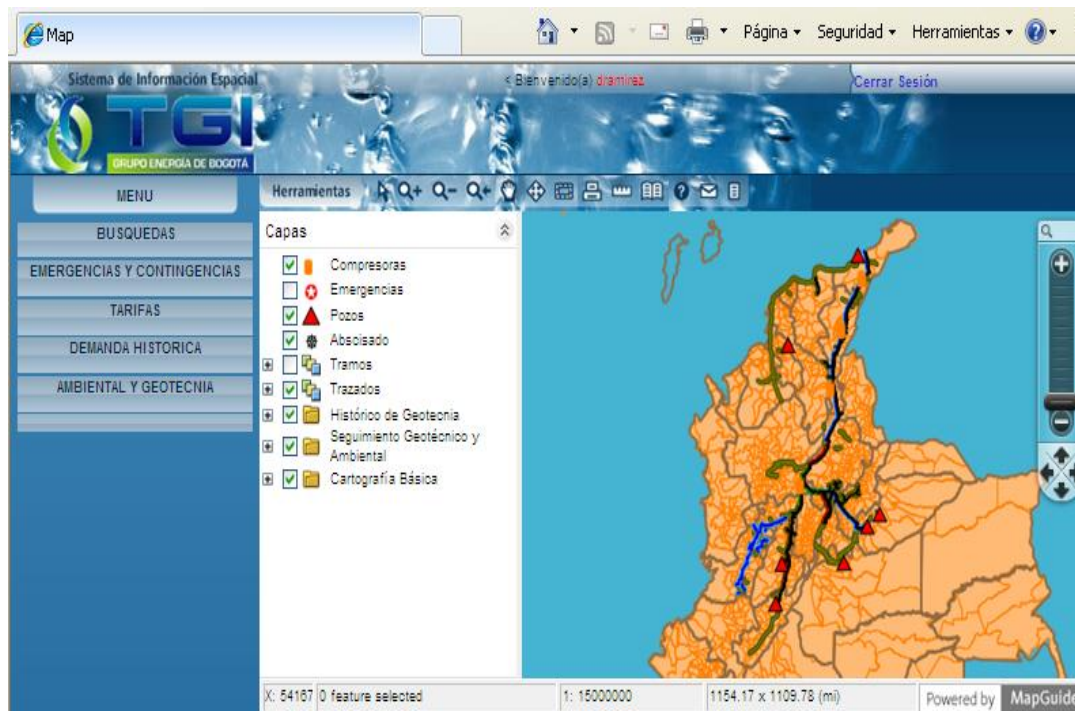
➤ VISIÓN

Ser en el año 2023 el primer transportador independiente de gas natural en Suramérica, reconocida por su gestión de clase mundial y su responsabilidad social corporativa.



2. ALIMENTACIÓN DEL MÓDULO AMBIENTAL Y GEOTECNIA DEL SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA.

Figura 1. Vista general del sistema del SIG.



Fuente: El autor

En vista que TGI S.A. ESP. realiza gestión sobre una parte considerable del espacio geográfico del país, el área de Informática y Telecomunicaciones de la Vicepresidencia de Ingeniería y Desarrollo, realizó un proyecto de Ingeniería de Sistemas por etapas para implementar un Sistema de Información Geográfica - SIG. Institucional con una serie de módulos con aplicaciones específicas sobre diversos temas que permiten el modelamiento interactivo de datos alfanuméricos y espaciales.



En la última fase de este proyecto se incorporó al SIG. el módulo Ambiental y Geotecnia cuya alimentación e implementación fue una de las funciones principales durante mi permanencia en la empresa.

2.1 CARACTERÍSTICAS DEL MÓDULO AMBIENTAL Y GEOTECNIA

2.1.1 Generales

Figura 2. Módulos del SIG de TGI S.A. E.S.P.



Fuente: El autor

El módulo Ambiental y Geotecnia se creó con el fin de centralizar en medio digital la información correspondiente a los contratos de obra, interventoría y consultoría



ejecutados por TGI S.A. E.S.P. o por la antigua empresa ECOGÁS para el mantenimiento geotécnico de los gasoductos.

Está conformado por 5 submódulos de los cuales se alimentaron los tres correspondientes al área de geotecnia.

2.1.1.1 Submódulo Histórico y Geotecnia

Figura 3. Submódulo Histórico y Geotecnia

The screenshot shows a web application titled "HISTÓRICO DE GEOTECNIA" running in Internet Explorer. The browser address bar shows the URL: <http://www.tgi.com.co/sieco/Source/HistoricoGeotecnia/crearHistGeo.aspx>. The page content is organized into several sections:

- HISTÓRICO DE GEOTECNIA:** A form with dropdown menus for Sector, Distrito, Gasoducto, Tramo, Departamento, Municipio, Predio, Propietario, Vereda, and Ubicación. There are also input fields for Abscisa TGI (with a dropdown for 'K'), DDV Compartido Abscisa, and DDV Compartido Empresa.
- DATOS CONTRATO DE OBRA:** Fields for Número, Contratista, Valor Total (con AIU+IVA) en pesos (\$), and Valor Total (con AIU+IVA) en SMMLV.
- DATOS CONTRATO DE INTERVENTORÍA:** Fields for Número, Contratista, Valor Ponderado por Abscisa en pesos (\$), and Valor Ponderado por Abscisa en SMMLV. Below these are fields for Valor Total con IVA en Pesos (\$) and Valor Total con IVA SMMLV.
- VALOR TOTAL POR ABSCISA OBRA MÁS INTERVENTORÍA:** Fields for Año del Contrato (dropdown, currently showing 2009), Valor en pesos (\$), and Valor en SMMLV.

At the bottom of the form, there are two buttons: "Agregar" and "Cerrar". The browser's status bar at the bottom shows "Listo" and "Internet" with a 65% zoom level.

Fuente: El autor

En el submódulo Histórico de Geotecnia se almacena toda la información relacionada con gastos económicos por mantenimiento geotécnico en cada una de las abscisas de los gasoductos propios de TGI S.A. E.S.P. En este se incluyen



datos importantes como el nombre de las firmas contratistas de obra y de interventoría que ejecutaron el mantenimiento en la zona, la ubicación geográfica del punto de las obras y, se especifican claramente los ítems ejecutados, las cantidades de cada uno y sus respectivos valores unitarios.

Internamente el sistema calcula el valor total de los gastos obra y el valor ponderado de la interventoría en la abscisa, tanto en pesos como en salarios mínimos legales vigentes mensuales del año correspondiente a la ejecución del contrato.

2.1.1.2 Submódulo seguimiento ambiental y geotecnia

Figura 4. Submódulo seguimiento ambiental y geotecnia

Fuente: El autor



Frecuentemente los profesionales ambientales y geotecnistas de la empresa realizan recorridos donde observan el derecho de vía, sus áreas de influencia y el estado de las obras de protección, con el fin de identificar los potenciales riesgos que su estado representa para la integridad de la tubería.

Cuando se localiza alguna abscisa en la que existen daños o riesgos sobre la integridad del tubo, el reporte entregado por los recorredores del gasoducto es almacenado en el submódulo de Seguimiento ambiental y Geotecnia.

En este submódulo se plasman los problemas geotécnicos y ambientales presentes en el punto, las recomendaciones dadas por los profesionales que lo visitaron, las coordenadas exactas del lugar y una imagen representativa del problema, que por lo general es una fotografía tomada en campo durante la visita.

2.1.1.3 Submódulo estudios ambientales y geotécnicos

Figura 5. Submódulo estudios ambientales y geotécnicos

Act	Descripción	Fecha	Sector	Distrito	Gasoducto	Tramo	Abscisa				
ORIGINAL	Estudio geológico, geomorfológico y geotécnico en el DI Gasoducto Centro Oriente-Tramo Pk 204+000 a Pk 235+000	18/04/2011	VASCONIA-MARIQUITA	DISTRITO I	CENTRO ORIENTE	VASCONIA-MARIQUITA	Km 204+000	Ubicar	Seleccionar	Modificar	Eliminar

Fuente: El autor



El Submódulo Estudios Ambientales y Geotécnicos es una base de datos en la cual se almacenan todos los contratos de consultoría solicitados por la empresa tales como estudios de tipo geológico, geomorfológico y geotécnico; contratos para diseños de variantes y, evaluaciones geotécnicas aéreas entre otros.

La información que se ingresa a este submódulo de cada uno de los contratos es muy abreviada, únicamente se anexa una descripción compacta del estudio, el nombre de la firma consultora contratada, el costo total del estudio y otros datos referentes a la ubicación dentro de la empresa del informe en físico y en formato digital entregado por los contratistas.



3. DESARROLLO DE LA PRÁCTICA EMPRESARIAL

3.1 FUNCIONES Y RESPONSABILIDADES

Durante los 6 meses de práctica empresarial se trabajó en el área de gerencia de proyectos de la empresa como encargado del seguimiento y de la alimentación de los submódulos del SIG descritos anteriormente; también se ejecutaron labores de tipo administrativo participando en los procesos de contratación para obras de mantenimiento geotécnico de los derechos de vía propios de la empresa. Tales funciones se describirán detalladamente a continuación.

3.1.1 Alimentación y seguimiento al sistema de información geográfica para el área de geotecnia

Durante la práctica empresarial se hizo un seguimiento frecuente a la parte estructural del SIG., debido a que el software, en varias ocasiones, presentó errores en su programación que retrasaron el ingreso de datos. Por este motivo se le realizaron constantemente pruebas a dicha herramienta informática y se le presentaron los respectivos informes a la firma encargada de su elaboración con el objeto de solucionarlos.

La labor de alimentar los submódulos histórico de geotecnia, seguimiento ambiental y geotecnia y estudios ambientales y geotécnicos, demandó la revisión carpeta por carpeta de todos los contratos de interventoría, obra y consultoría ejecutados por la empresa entre los años 2006 y 2009. La información extraída de las carpetas primero se almacenó y organizó en hojas de cálculo en EXCEL y después fue cargada al SIG., cuando este ya estuvo en óptimas condiciones.

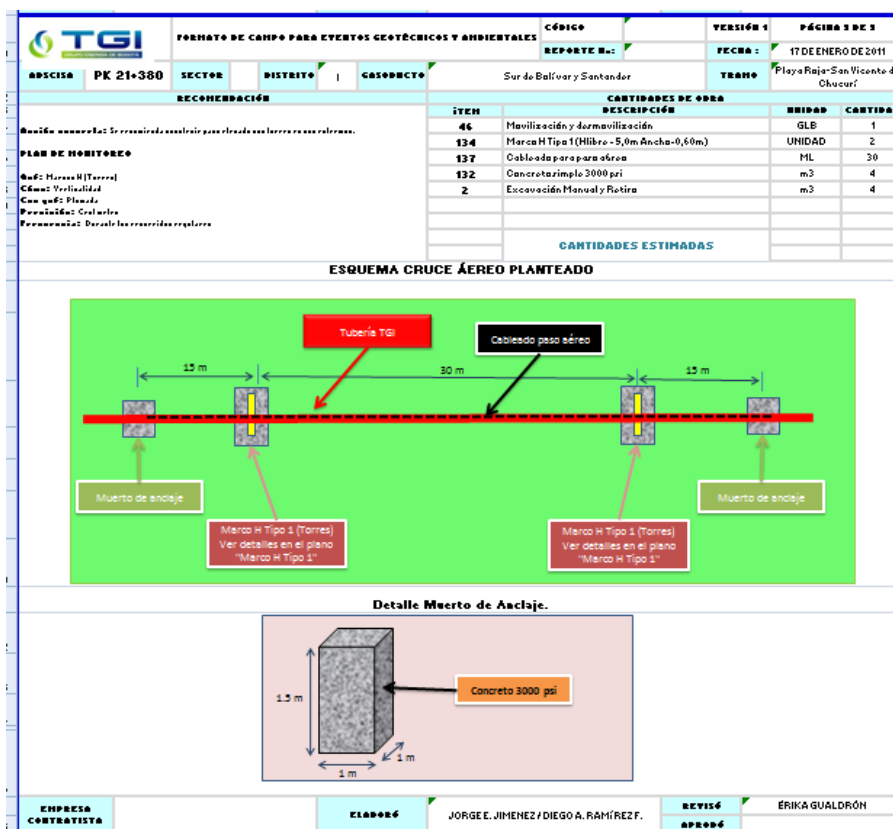


3.1.2 Participación en el área administrativa de geotecnia

En el área de geotecnia de la empresa se realizaron diversas funciones, entre las cuales se destacan las que describiré a continuación.

3.1.2.1 Elaboración de Fichas Técnicas

Figura 6. Modelo ficha técnica



Fuente: TGI S.A. E.S.P

Las Fichas Técnicas son un documento que contiene toda la ingeniería de detalle de las obras geotécnicas a construir en una determinada abscisa del gasoducto. Contienen información importante como el acceso al sitio en cuestión, los problemas geotécnicos y ambientales presentes y las recomendaciones dadas por



los profesionales encargados. Incluyen también planos y esquemas detallados de las estructuras a construir, las cantidades de obra y la ubicación de cada elemento del proyecto.

Durante la práctica empresarial se elaboró en conjunto con el profesional geotecnista, las fichas técnicas para los contratos de mantenimiento de los gasoductos de la empresa que se iniciaron a finales de 2010 y a principios de 2011. Mi aporte a las fichas fue la elaboración de los planos y esquemas de las obras a construir, el cálculo de las cantidades de obra, y la consolidación y digitalización de toda la información que la ficha debe contener como tal.

3.1.2.2 Elaboración de Especificaciones Técnicas

Las especificaciones técnicas contienen las normas y procedimientos que deben ser empleados en la ejecución de los trabajos de construcción de obras o la elaboración de estudios. En estas se especifican los materiales que se pueden utilizar, la metodología a seguir, la forma de recibo de los trabajos y la unidad de medida y pago de los mismos.

En el transcurso de la práctica se elaboró el paquete de especificaciones técnicas de diversos contratos para mantenimiento de los derechos de vía. Este trabajo consistió en la búsqueda y selección del *Manual de especificaciones técnicas de ingeniería de gasoductos* de TGI S.A. E.S.P. de las especificaciones necesarias para abarcar todos los ítems del contrato.

Durante esta labor, fue necesario crear nuevas especificaciones técnicas para trabajos y actividades que no se encontraban incluidos en el manual de la empresa, tales como:



- Especificación Reubicación tubería
- Especificación Reubicación marco H
- Especificación Marcos H tipo 1 2 3
- Especificación Descolmatación y limpieza
- Especificación Cables y pendolones de cruces aéreos
- Especificación Barandas
- Especificación Cajas de Inspección
- Especificación Sello pasa muros

Estas especificaciones fueron elaboradas en conjunto con el profesional encargado del área de geotecnia de la empresa.

3.1.2.3 Elaboración del cuadro de descripción de eventos geotécnicos

Figura 7. Cuadro de descripción de eventos geotécnicos

EVENTOS DE GEOTECNIA - DISTRITO I					
CONSTRUCCIÓN DE OBRAS DE GEOTECNIA PARA EL MANTENIMIENTO DEL DERECHO DE VÍA Y PROTECCIÓN DE LA TUBERÍA DEL GASODUCTO CENTRO ORIENTE, DISTRITO I Y RAMALES					
SECTOR PLAYA ROJA-SANVICENTE DE CHUCURÍ					
ITEM	ABSCISA K	MUNICIPIO	ACCESO/COORDENADAS/COMP	DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA	SOLUCIÓN PLANTEADA
1	PRIORIDAD: ABSCISA: VEREDA: PREDIO: PROPIETARIO: MUNICIPIO:	1 3+780 Liana Caliente Finca Marenga San Vicente de Chucurí	Partiendo desde la Troncal Panamericana Lizama - Dorada, en el sitio conocido como Rancho Camacho, nos desviamos por una carretera destapada en mal estado de banca avanzando por el caserío Albania y hacia la Liana Caliente, el punto se ubica aproximadamente a 22,1 Km y se ingresa por el predio al derecho de vía hasta llegar al punto en cuestión.	La erosión pluvial ha dejado expuesta la línea de 2" del Gasoducto Playa Roja-San Vicente, viéndose amenazada por el paso de semovientes debido a que el DDV coincide con el camino de herradura hacia el potrero de la hacienda.	Se recomienda construir barreras en sacos de suelo cemento en la zona de zanja, realizar un relleno compactado, construir placa en piedra pegada, hacer un canal colector en piedra pegada con disipadores y un descole en piedra pegada hasta un caño que pasa por el sector. Además se sugiere realizar una empedrización con aporte de materia orgánica.
2	PRIORIDAD: ABSCISA: VEREDA: PREDIO: PROPIETARIO: MUNICIPIO:	1 8+500 Liana Caliente La esperanza Félix Antonio Rojas Blanco San Vicente de Chucurí	Partiendo desde la Troncal Panamericana Lizama - Dorada, en el sitio conocido como Rancho Camacho, nos desviamos por una carretera destapada en mal estado de banca avanzando por el caserío Albania y hacia la Liana Caliente, el punto se ubica aproximadamente a 29,8 Km y se ingresa por el predio al derecho de vía hasta llegar al punto en cuestión.	La socavación del lecho y margen están colocando en riesgo la integridad de las obras existentes. El descole del canal esta quedando sin soporte debido al socavamiento del suelo en que este se apoya quedando en voladizo corriendo el riesgo de quebrarse.	Se recomienda construir gaviones en piedra con revestimiento en malla mortero, igualmente revestir con malla mortero los gaviones ya existentes. También se recomienda construir una placa en piedra pegada en el lecho.

Fuente: TGI S.A. E.S.P



El cuadro de descripción de eventos geotécnicos consiste en una tabla en la que se agrupan todas las abscisas que van a ser intervenidas en un mismo contrato. En este cuadro se explican detalles como el acceso a cada uno de los puntos de los trabajos, el problema presente en el sector y la solución planteada por los profesionales encargados. Toda la información plasmada en este cuadro se extrae de las fichas técnicas propias de cada abscisa.

3.1.2.4 Cálculo de presupuestos

Durante el cumplimiento de mis funciones, participe en cálculo de presupuestos de diversos trabajos requeridos por la empresa, como contratos de mantenimiento geotécnico y contratos para estudios de suelos y batimetrías.

3.1.2.5 Revisión y seguimiento a contratos en ejecución

Esta actividad consiste en revisar los informes semanales y mensuales presentados por la interventoría, en los cuales es fundamental inspeccionar atentamente que los contratistas presenten los debidos soportes de afiliación de todo el personal participante en la obra, a riesgos profesionales, salud y pensión.

Se debe verificar que las obras ejecutadas cumplan con las especificaciones técnicas suministradas por la empresa. También se debe corroborar que no existan retrasos en la obra comprobando que las cantidades ejecutadas sean mayores o iguales a las programadas.

Durante la práctica se le hizo seguimiento a distintos contratos para el mantenimiento geotécnico de los derechos de vía propios de la empresa, los cuales se encontraban en la etapa de ejecución en esos momentos.



4. EVENTOS NATURALES CAUSANTES DE INESTABILIDAD EN LOS DERECHOS DE VÍA

Los eventos naturales se clasificaron en dos tipos de acuerdo a las causas que los originan.

El primer tipo de eventos son los movimientos del terreno, en el cual entran las diferentes clases de deslizamientos comunes presentes en los derechos de vía los cuales dependen principalmente de la presencia del agua, la forma del relieve, la sismicidad y la meteorización en la zona. El segundo tipo de eventos, llamado erosión, reúne todos los fenómenos erosivos causados por la presencia del agua en los derechos de vía.

4.1 MOVIMIENTOS DEL TERRENO

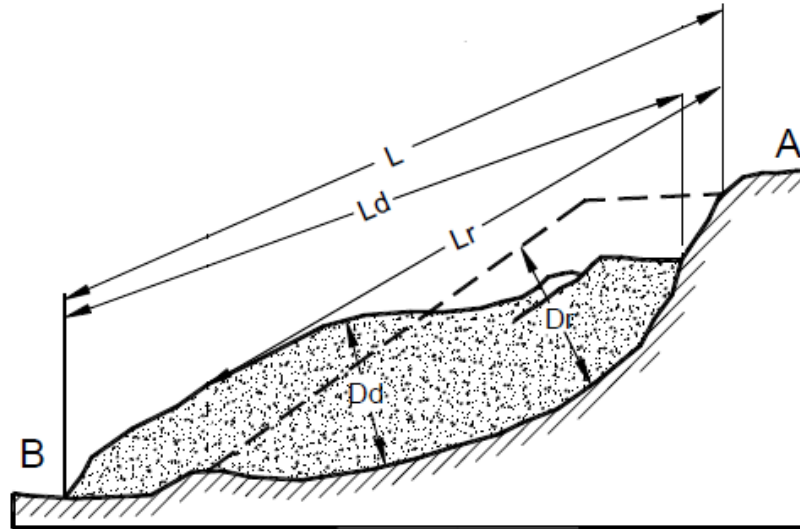
Los movimientos de tierra son uno de los procesos geológicos más destructivos que afecta la integridad de los gasoductos, la mayor parte del gasto económico en mantenimiento geotécnico de los derechos de vía se invierte en la prevención y el control de deslizamientos. Esto se debe a que el territorio colombiano está ubicado sobre un sistema montañoso de alta sismicidad y sobre una zona tropical de lluvias intensas.

Generalmente son frecuentes en los derechos vía de la red nacional de gasoductos de TGI los deslizamientos en masa, tanto rotacionales como traslacionales, los fenómenos de reptación del suelo y los flujos de tierra.



4.1.1 Deslizamientos en masa

Figura 8. Dimensiones de los deslizamientos en masa



Fuente: Estabilidad de taludes de Jaime Suárez

Figura 9. Deslizamiento en masa en el derecho de vía.[§]



Fuente: El autor

[§] Geoforma escarpada lateral de pendiente inclinada moderada, litológicamente constituida por areniscas de color amarillento y suelo residual de color café a negro. Se observa la continuación del fenómeno de remoción en masa de gran magnitud que afecta el derecho de vía, tensionando la línea.



Este tipo de movimientos se caracteriza por que la falla se presenta a lo largo de una o varias superficies de corte las cuales son detectables a simple vista o se pueden inferir fácilmente. Son propios de derechos de vías empinados donde el complejo campo de fuerzas provoca un esfuerzo cortante superior a la resistencia al corte del material. Se clasifican en deslizamientos rotacionales y traslacionales, cuya distinción cabe resaltar debido a la diferencia que existe en los métodos de estabilización que se aplican para cada tipo.

4.1.1.1 Deslizamientos Rotacionales

Figura 10. Afloramiento de la tubería debido a un deslizamiento rotacional



Fuente: El autor

En este tipo de deslizamiento la superficie de falla es curva pero no necesariamente circular; por lo general tienen una relación D_r/L_r entre 0.15 y 0.33. Se presentan frecuentemente en derechos de vía conformados por suelos residuales en los cuales la resistencia al cortante aumenta con la profundidad y también en suelos arcillosos blandos de perfil profundo. Como podemos ver en la **figura 8** estos movimientos generan hundimientos en la cabeza del deslizamiento,

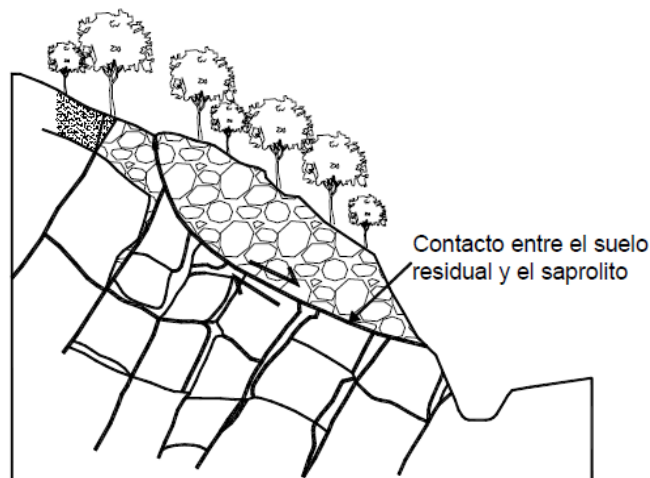


escarpes en el cuerpo y en la base acumulación del material, que puede llegar a convertirse en flujos de tierra o lodo.

4.1.1.2 Deslizamientos traslacionales

Se caracterizan por que la superficie de falla es casi plana y posee una relación D_r/L_r menor a 0.5. En derechos de vía muy empinados pueden llegar a convertirse en flujos de detritos o tierra. Se generan principalmente en terrenos donde existen superficies débiles como fracturas, planos de estratificación y foliación. Son comunes en zonas donde mantos de suelos residuales descansan sobre estratos más resistentes como rocas.

Figura 11. Deslizamiento traslacional



Fuente: Estabilidad de taludes de Jaime Suárez



4.1.2 Reptación o “Creep”

Figura 12. Tubería afectada por un movimiento de reptación**



Fuente: TGI S.A. E.S.P.

Los movimientos de reptación son desplazamientos muy lentos de la parte superficial del terreno en los cuales no existe una superficie de separación definida entre la masa en movimiento y la que permanece estática. Debido a sus bajas velocidades tienden a pasar inadvertidos, sin embargo la formación de pliegues en el suelo, la inclinación de los árboles y la separación del suelo en el contacto con grandes rocas son evidencias de la presencia de este tipo de movimiento. Son comunes en derechos de vía con pendiente baja a media. Entre sus causas están las alteraciones climáticas relacionadas con procesos de humedecimiento y secado de suelos blandos que ocasionan la expansión y contracción del material. También se presentan en suelos que al saturarse tienden a fluir lentamente con un movimiento semejante al de un líquido viscoso. Pueden convertirse en fenómenos más rápidos como flujos o deslizamientos traslacionales.

** Todo el tramo aéreo está susceptible a continuar el movimiento de suelo tipo creep en forma transversal al eje de la tubería de 14". Se apreció tubería de 14" expuesta en más de 5,00m de longitud



4.1.3 Flujos

Los flujos son movimientos de velocidad variable, pueden ser rápidos y lentos y presentarse en cualquier tipo de material. Existen flujos de roca, de detritos y de tierra los cuales generalmente se inician a partir de deslizamientos de rotación o traslación ya existentes. Son frecuentes en derechos de vía con alta pendiente y en suelos producto de la meteorización de rocas. El flujo de detritos (suelos con más del 50% de material grueso) es muy veloz; este es activado principalmente por lluvias y puede abarcar grandes zonas y en cambio, los flujos de tierra (materiales con más del 50% de finos) pueden ser lentos o rápidos dependiendo de la humedad y pendiente del terreno.

4.2 EROSIÓN

Figura 13. Derecho de vía erosionado



Fuente: TGI S.A. E.S.P



La erosión es el desprendimiento y transporte de las partículas superficiales del suelo debido principalmente a la acción del agua. Este fenómeno es muy común en los derechos de vía donde el terreno tiene nula o escasa vegetación, en los cuales el impacto de las gotas de lluvia y el flujo de las aguas de escorrentía arrastran los materiales de la superficie generando el desgaste del suelo.

Entre las diversos tipos de erosión, las que más remoción de material generan en los derechos de vía, en orden de importancia, son:

4.2.1 Erosión por escorrentía

Figura 14. Cárcava en derecho de vía genera por la escorrentía



Fuente: TGI S.A. E.S.P

Este fenómeno es generado por el agua de la lluvia que discurre por la superficie del terreno, sin infiltrarse ni evaporarse.



Generalmente la erosión por escorrentía genera el desprendimiento y la remoción de las capas más superficiales del terreno, pero en derechos de vía desprotegidos y con pendientes superiores al 2%, el flujo superficial del agua tiende a concentrarse y canalizarse en determinadas zonas generando la aparición de surcos que con el paso del tiempo se hacen más grandes y profundos hasta llegar a convertirse en cárcavas.

Las obras más comunes para controlar las cárcavas son el revestimiento de las mismas con concreto o el desvío de las aguas lejos de la zona afectada.

4.2.2 Erosión Fluvial

Figura 15. Tubería destapada por la erosión fluvial^{††}



Fuente: TGI S.A. E.S.P

^{††} Tubería destapada por la avenida que se presentó en el Río Guarinó en el mes de Noviembre de 2010. Se presenta socavación lateral de la margen derecha del río que incrementa el riesgo sobre la integridad del gasoducto.



Este fenómeno hace referencia a la erosión producida por el agua que fluye en forma de corrientes permanentes como ríos, quebradas o arroyos. En este tipo de corrientes la energía del agua puede desprender y transportar los materiales de su propio lecho generando socavación tanto en las márgenes como en el fondo.

Cuando la tubería del gasoducto se encuentra muy cerca de una fuente hídrica o la cruza, la erosión fluvial toma gran importancia puesto que al presentarse avenidas generadas por precipitaciones intensas, el incremento de la socavación del lecho puede generar el afloramiento de la tubería de gas dejándola sometida a los embates del agua.

4.2.3 Erosión interna

El movimiento del agua subterránea puede producir el transporte interno de partículas. Por lo general el agua socava materiales finos y sueltos del terreno generando cavidades que desestabilizan el talud. En zanjas por donde transcurre el gasoducto es muy común que se genere socavación interna debido a mala compactación del relleno lo cual genera un fenómeno retrogrado conocido como la tubificación.

La tubificación es la erosión interna del derecho de vía que se inicia con el transporte de los granos del suelo más débiles y que no están bien confinados, que generalmente son los que están pegados a la tubería. Este fenómeno se acelera debido a que al agua al transportar estos granos le es más fácil arrastrarse los siguientes. De esa manera se va generando un “tubo” en el suelo desde la superficie hacia el interior. Por tal razón es de suma importancia compactar adecuadamente el material del terreno que protege la tubería con el fin de evitar el afloramiento de la línea por la formación de cavernas.



4.2.4 Erosión Pluvial

Hace referencia al desgaste y acarreo de material de la superficie del terreno producido por el impacto de las gotas de lluvia que en ocasiones son hasta mil veces más grandes que una partícula de suelo. Sus efectos son más notorios en derechos de vía donde existe escasa vegetación, en los cuales se puede producir el desprendimiento de capas delgadas del material.



5. DAÑOS SOBRE LAS TUBERÍAS DE GASODUCTOS

La falla o ruptura de una tubería genera sobre costos a la empresa debido a los gastos requeridos para su reparación y también a las pérdidas económicas por la no entrega del hidrocarburo a los consumidores. Una falla catastrófica puede ocasionar daños ambientales graves y poner en riesgo la vida de las personas que habitan sobre el derecho de vía y sus áreas de influencia. Por eso, es de suma importancia atender cualquier anomalía que ponga en riesgo el suministro del hidrocarburo y seguridad pública de la zona.

Los daños que se pueden presentar en un gasoducto y que exigen atención inmediata son:

5.1 DEFORMACIÓN DE LA LÍNEA DEL GASODUCTO

Este fenómeno está asociado principalmente a los movimientos del terreno; los empujes producidos por un terreno inestable sobre la tubería desplazan la línea del gasoducto generando esfuerzos de tensión sobre la misma que pueden ocasionar su ruptura. Las deformaciones de la línea son generadas principalmente por deslizamientos en masa y movimientos de reptación.

5.2 AFLORAMIENTO

La mayor parte de la tubería para transporte de gas y de otro tipo de hidrocarburos se encuentra enterrada bajo la superficie del suelo a profundidades que oscilan entre uno y dos metros. Sin embargo, dichas tuberías en ocasiones son

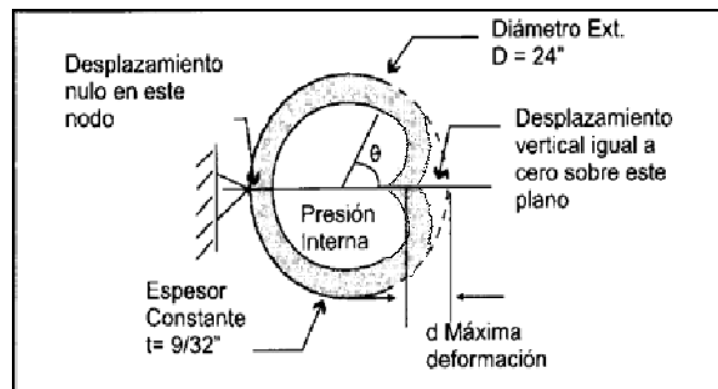


destapadas o descubiertas debido al desgaste o el hundimiento del derecho de vía; a este fenómeno se le conoce como afloramiento.

El afloramiento de la tubería es ocasionado principalmente por la erosión del suelo, es muy común encontrar tuberías destapadas entre cárcavas profundas ocasionadas por el agua de escorrentía y en ríos donde la socavación de las márgenes arrastró el relleno que protegía la línea; también suelen quedar destapados largos tramos del gasoducto debido a hundimientos del derecho de vía asociados generalmente a deslizamientos de tipo rotacional.

5.3 ABOLLADURAS EN LA TUBERÍA

Figura 16. Esquema de Tubería abollada



Fuente: TGI S.A. E.S.P

Las abolladuras son hundimientos de la superficie de la tubería que se generan por efecto de presiones puntuales de rocas agudas las cuales son comprimidas contra la tubería por deslizamientos o debido a malos procesos constructivos. También se pueden ocasionar por impacto directo de rocas o cualquier tipo de sólido en tuberías afloradas sobre ríos.



5.4 OXIDACIÓN DE LA TUBERÍA

La oxidación se produce debido a fallas en el revestimiento aislante de la tubería y es potencializada por ambientes agresivos. La oxidación produce defectos volumétricos. Un defecto volumétrico es la pérdida de espesor de la pared del ducto producido generalmente por causa de la corrosión del material metálico de la línea.

5.5 RUPTURA DEL GASODUCTO

La ruptura del gasoducto se puede generar por deformaciones longitudinales excesivas ocasionadas por empujes provocados por terrenos inestables que inducen esfuerzos de tensión que superan la resistencia de la tubería. Igualmente las presiones puntuales de rocas pueden romper la superficie del gasoducto generando fugas del fluido. Por otro lado, cuando una tubería queda sometida a los embates del agua esta puede fallar por fatiga y romperse debido a la constante vibración a la que queda sometida.



6. OBRAS GEOTÉCNICAS IMPLEMENTADAS

Para enfrentar un evento natural que supone algún riesgo sobre la tubería generalmente se implementan varios tipos de obras geotécnicas para enfrentarlo dependiendo de la causa del problema. Por ejemplo, en un derecho de vía conformado por un terreno inestable, es común utilizar obras de contención de la mano con obras de drenaje, si se observa que uno de los disparadores del deslizamiento es el agua.

En este capítulo se identificaron los tipos de obras geotécnicas utilizados para el mantenimiento de derechos de vía con el objeto de prevenir daños en tuberías de transporte de gas u otro tipo de hidrocarburo. De cada tipo se mencionaran las obras geotécnicas más implementadas en la práctica, que generalmente son aquellas que por su eficiencia y economía se prefieren más que otras.

6.1 OBRAS DE CONTENCIÓN

El objetivo de las estructuras de contención es incrementar las fuerzas resistentes en el talud para prevenir o detener la falla. El uso de este tipo de obras como medida de corrección es muy discutida ya que para algunos autores son más apropiadas como tratamiento preventivo que como correctivo, es decir, que son bastante eficientes antes de que la masa de suelo se debilite por acción del deslizamiento.

Para proyectar obras de contención se necesita conocer los flancos y profundidad de la zona de falla, la estabilidad relativa de la masa de suelo y las condiciones para la cimentación de la estructura de contención. La mala utilización de este tipo



de obras se presenta cuando el tamaño de la masa fallada es mayor que la cuña del suelo soportada por la estructura.

A pesar que en ocasiones se consideran antieconómicas y poco eficientes y se prefiere la utilización de otro tipo de obras como drenaje, existen casos donde son la mejor o única opción de solución disponible.

Las estructuras de contención más implementadas en la geotecnia orientada a la protección de gasoductos son los muros de contención en gaviones y los pilotes enterrados utilizando tubería de gas en desuso. Los muros rígidos en concreto son menos utilizados debido a que resultan más costosos que estructuras flexibles como los gaviones y no permiten deformaciones importantes sin romperse.

6.1.1 Muros en gaviones

Los muros en gaviones son los muros de contención más utilizados en la protección de derechos de vía de gasoductos debido a que su construcción y mantenimiento es sencillo y económico; además su permeabilidad permite el drenaje fácil de la cuña contenida generando el alivio de las presiones de agua y por otro lado éstos se adaptan a los movimientos del relleno y de la cimentación sin pérdida de eficiencia.

El tipo de muros en gaviones más utilizado es aquel conformado por canastas de malla eslabonada de sección transversal de 1m*1m y de 2m de largo, las cuales se rellenan con fragmentos de rocas o cantos rodados sanos y resistentes. Debido a su gran utilización se elaboró en esta tesis de grado una hoja de cálculo que permite el diseño de muros de gavión de 1 a 5 metros de altura puesto que para alturas mayores dejan de ser económicos.



6.1.2 Pilotes

Los pilotes son un método apropiado para contener deslizamientos poco profundos. Todos los esquemas basados en pilotes se deben diseñar cuidadosamente utilizando parámetros representativos del suelo calculando que la sección de los mismos resistan los empujes laterales a los que van a estar sometidos. Es importante conocer la profundidad de la superficie de falla toda vez que los pilotes deben ser enterrados en suelo competente para evitar su inclinación y extracción.

En el mantenimiento de derechos de vía de gasoductos es muy común utilizar tubería de gas en desuso, las cuales se entierran en el suelo en filas, de tal manera que los pilotes queden intercalados para así evitar el flujo del material entre ellos. Son muy utilizados en el control de deslizamientos traslacionales pequeños y no muy aptos en suelos cohesivos (arcillas) puesto que estos tienden a fluir entre las pilas.

6.1.3 Muros rígidos

Los muros rígidos son estructuras que no permiten deformaciones considerables sin romperse, generalmente se construyen en concreto simple, ciclópeo o reforzado. Necesitan de una muy buena fundación y son más costosos que los muros en gaviones por lo cual se prefiere la utilización de estos últimos. Sin embargo el uso de muros de concreto reforzado puede ser indispensable en casos donde se requiera contener deslizamientos de alturas superiores a los 5 metros y donde se vea que la implementación de éste es la mejor solución al problema.



6.2 OBRAS DE DRENAJE SUPERFICIAL Y SUB-SUPERFICIAL

Las lluvias son una de las mayores preocupaciones de los profesionales encargados de la integridad de los gasoductos, debido a que éstas son uno de los principales disparadores de deslizamientos y además son el mayor generador de erosión en el terreno.

El incremento de la cantidad de agua en los derechos de vía inestables disminuye la resistencia al corte del material debido al aumento de la presión de poros. Por esto se construyen obras de drenaje superficial con el objeto de reducir la infiltración y la erosión; y obras de drenaje subsuperficial con el fin de aumentar la resistencia del suelo reduciendo las presiones de poros.

Las obras de drenaje superficial más comunes en la protección de derechos de vía implementadas por TGI S.A. E.S.P. son los canales y cortacorrientes; y para subdrenaje se utilizan mucho los filtros geodrem y los filtros horizontales.

6.2.1 Canales

Los canales colectores para dar control a las aguas de escorrentía implementados por TGI S.A. E.S.P. generalmente son de sección trapezoidal y suelen revestirse con concreto simple, concreto con piedra pegada o con sacos de suelo cemento.



Figura 17. Canal trapezoidal en concreto



Fuente: TGI S.A. E.S.P

Figura 18. Canal trapezoidal en piedra pegada



Fuente: TGI S.A. E.S.P

Este tipo de obras la empresa las construye sin ningún tipo de cálculo ingenieril, simplemente de forma empírica se estima la cantidad de canales y sus dimensiones para drenar una determinada área. Por tal razón, y debido a la gran importancia de estas obras, se elaboró en ésta tesis de grado una hoja de cálculo



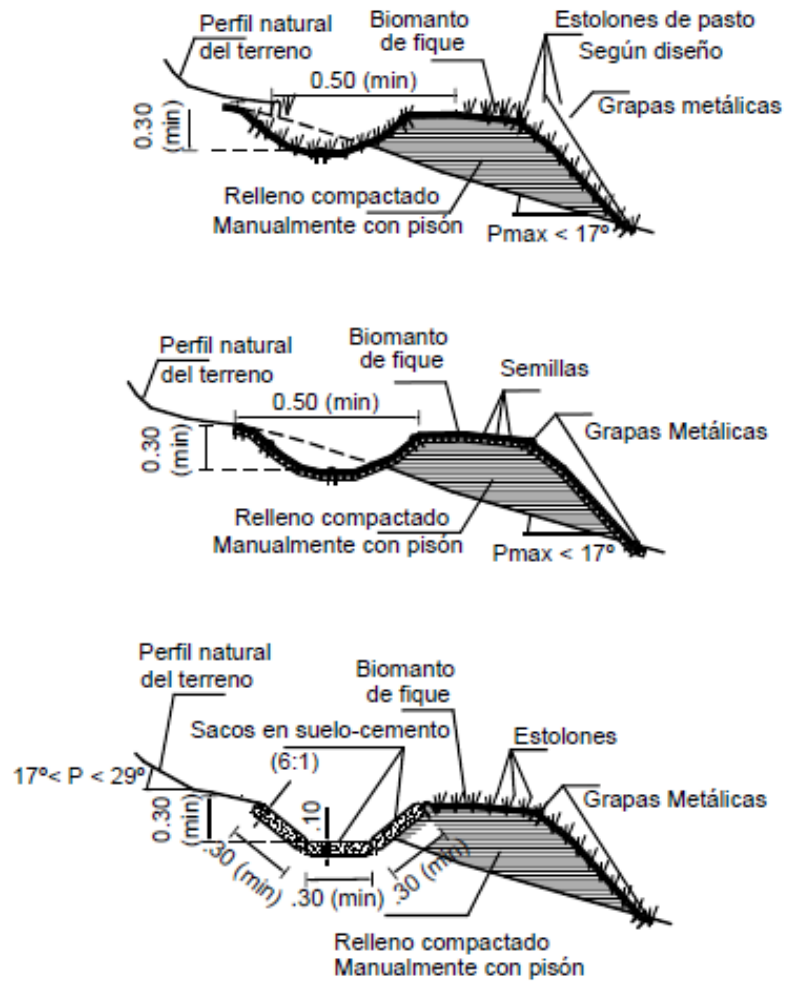
que permite diseñar canales trapezoidales teniendo en cuenta la pluviosidad de la zona, el área de drenaje, la pendiente del terreno y otros factores importantes para estos casos; de tal manera que los nuevos diseños cumplan con los caudales máximos esperados, las velocidades mínimas requeridas para evitar la sedimentación de material y la velocidades máximas permitidas para prevenir el desgaste del recubrimiento de los mismos.

6.2.2 Cortacorrientes

Los cortacorrientes son canales interceptores ubicados transversalmente a las líneas de flujo del agua en el talud cuyo objeto es evitar la formación de corrientes a lo largo de la pendiente. Generalmente estos captan el agua y la transportan a los canales colectores localizados en los lados del terreno. Para los cortacorrientes se acostumbra a revestir su superficie con vegetación o sacos de suelo cemento debido a que la velocidad de flujo y el caudal que transportan no son muy grandes. Entre los tipos de cortacorrientes más utilizados en Colombia están los mostrados en la siguiente figura:



Figura 19. Tipos de cortacorrientes



Fuente: Estabilidad de taludes de Jaime Suarez

6.2.3 Filtros geodrem

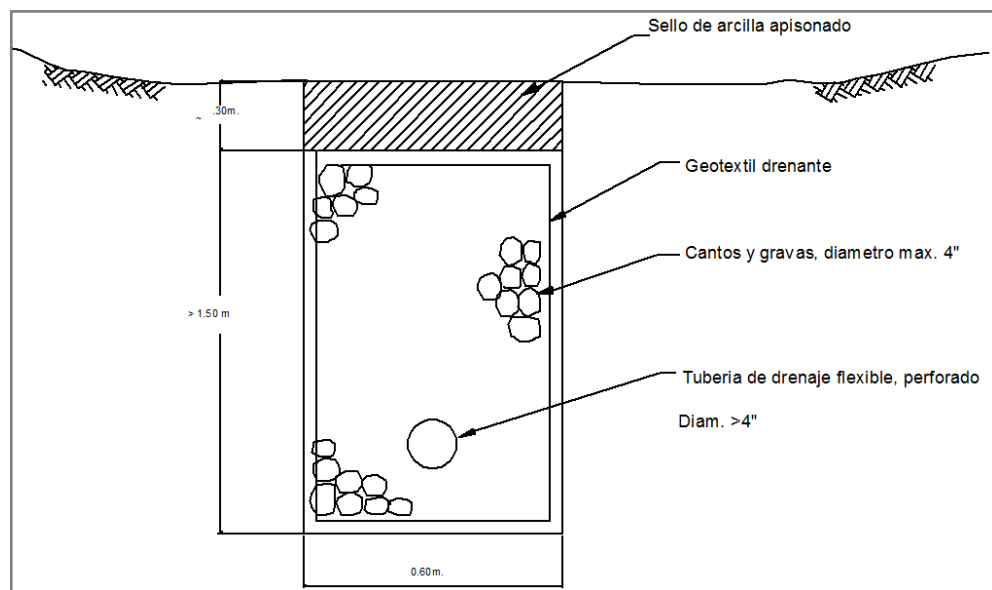
Este tipo de filtros es muy implementado por la empresa debido a su eficiencia, se utilizan para recolectar y controlar la infiltración del agua superficial, subsuperficial y subterránea en cualquier tipo de suelo. Están conformados por un relleno de alta permeabilidad (preferiblemente material grueso de diámetro superior a 4”), un



geotextil filtrante el cual impide el paso de las partículas del finas del suelo hacia el relleno permeable sin afectar el flujo libre del agua y una tubería flexible perforada utilizada como desagüe.

Debido a la implementación del geotextil que evita el paso de material fino al relleno permeable y por ende su colmatación, este tipo de filtros es muy útil inclusive en suelos arcillosos. Un esquema general de este tipo de elementos es el que se muestra en la siguiente figura:

Figura 20. Filtro geodrem



Fuente: TGI S.A. E.S.P

6.2.4 Filtros horizontales

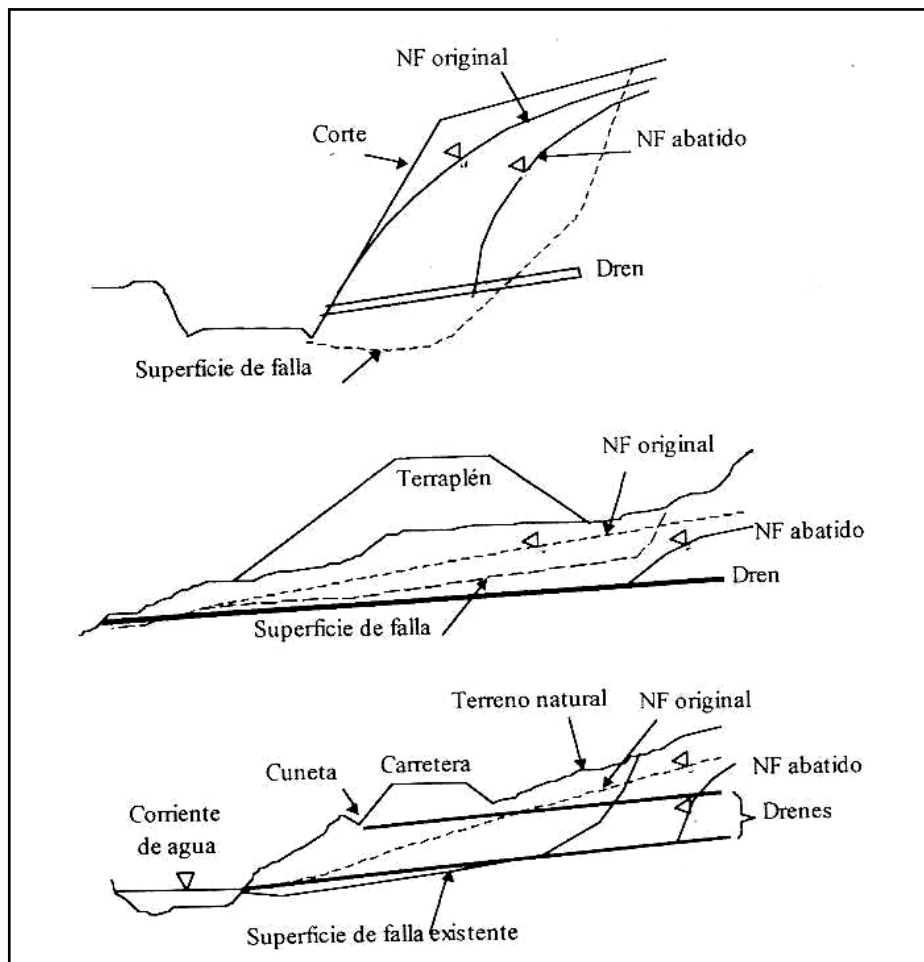
Los filtros o drenes horizontales son una buena herramienta para la intercepción y control de aguas infiltradas en derechos de vía inestables. Usualmente TGI S.A. E.S.P. los elabora con tubos de PVC ranurados y recubiertos con geotextil que se introducen en perforaciones practicadas en el terreno con pendiente y longitud



establecidas en el diseño o por la Interventoría en cada sitio específico. La tubería se coloca generalmente con una inclinación del 3 al 15% para favorecer el drenaje por gravedad.

Son económicos y muy utilizados en zonas de falla profundas ya que con estos se logra abatir el nivel freático e incrementar la resistencia al corte del material. En la **figura 21** podemos ver como se deben ubicar los drenes horizontales según distintas cuñas de falla del terreno.

Figura 21. Disposición de drenes horizontales



Fuente: INVIAS



6.3 OBRAS DE PROTECCIÓN DE MÁRGENES DE LOS RÍOS

Las obras de protección de las márgenes de los ríos se utiliza en derechos de vía que coinciden con corrientes permanentes de agua en las cuales la socavación del lecho puede llegar a destapar la tubería y dejarla expuesta a los embates del agua. Generalmente se utilizan dos tipos de estructuras para proteger las márgenes de la erosión fluvial, el primer tipo son aquellas cuyo objeto es únicamente proteger contra la socavación, las cuales generalmente son muros en gaviones y el segundo tipo son los llamados espolones, cuyo objeto es desviar las líneas de flujo del agua para alejarlas de las márgenes en riesgo.

6.3.1 Muros en gaviones para la protección de la margen contra la socavación

Figura 22. Gaviones en la margen del río para evitar la socavación



Fuente: TGI S.A. E.S.P



6.4 OBRAS DE VEGETALIZACIÓN DEL TERRENO

Las obras de vegetalización del terreno se utilizan principalmente para proteger la superficie del suelo de la erosión. Sin embargo, también se implementan en derechos de vías inestables con el fin de mejorar la resistencia del suelo al corte y así hacerlos menos susceptibles a deslizamientos. Las especies a sembrar se deben seleccionar adecuadamente de tal manera que se adapten tanto al tipo de suelo como al clima de la región.

Los beneficios que se obtiene al aportar al terreno coberturas vegetales son:

- Control de la erosión pluvial: al recubrir el terreno con especies vegetales estas sirven como escudo protector del suelo contra el impacto de las gotas de lluvia.
- Control de la erosión por escorrentía: las raíces de las plantas retienen las partículas del suelo, haciendo más difícil que estas puedan ser arrastradas por el agua. Además parte de la lluvia es interceptada por sus hojas, disminuyendo así, el volumen de agua de escorrentía.
- Mayor resistencia al corte del suelo: especies vegetales con raíces profundas y apropiadas refuerzan el suelo aumentando su resistencia al cortante.

Las obras de vegetalización se pueden dividir en dos tipos dependiendo de la profundidad de las raíces de las especies utilizadas, los cuales son revegetalización y reforestación.



6.4.1 Revegetalización

La revegetalización consiste en la siembra de especies rastreras con el fin de cubrir la superficie del suelo con el objetivo de prevenir la erosión pluvial y por escorrentía. Dichas especies se caracterizan por que sus raíces alcanzan una profundidad máxima de 30 cm. Entre las más utilizadas se encuentran diversos tipos de pastos como Brachiaria, Vetiver, Pangola, Elefante, San Agustín, Estrella, Puntero, Limonaria y Argentino.

6.4.2 Reforestación

Figura 24. Reforestación del derecho de vía



Fuente: TGI S.A. E.S.P

La reforestación consiste en la siembra de árboles, arbustos y plantas de raíces profundas (generalmente mayores a 3 m) que además de comportarse como agentes antierosivos mejoran la resistencia del terreno, toda vez que sus raíces permiten el anclaje del suelo a mantos de material más resistente. Entre los tipos



de árboles más utilizados para la reforestación de derechos de vía están: arboloco, sáuce, nacedero, eucalipto, guadua y el pino.

6.5 OBRAS DE ELUCIÓN DEL EVENTO

Las obras de elusión se utilizan para evitar el paso de la tubería del gasoducto sobre áreas de riesgo muy alto. En especial se implementan para eludir deslizamientos muy problemáticos o para sobrepasar corrientes de agua como ríos. Las formas comúnmente implementadas para eludir un evento son implementación de variantes o la construcción de pasos elevados de gasoducto.

6.5.1 Variantes

En ocasiones puede resultar más ventajoso y económico modificar el alineamiento de una tubería de gas que convivir con el problema presente en la zona. Comúnmente se realizan variantes en derechos de vía con presencia de deslizamientos activos muy grandes donde la utilización de métodos de estabilización resulta más costosa que la reubicación de la tubería.

Es importante realizar los estudios geotécnicos y geológicos con el fin de garantizar que la variante quede en una zona con niveles de amenaza menor a los del proyecto original.

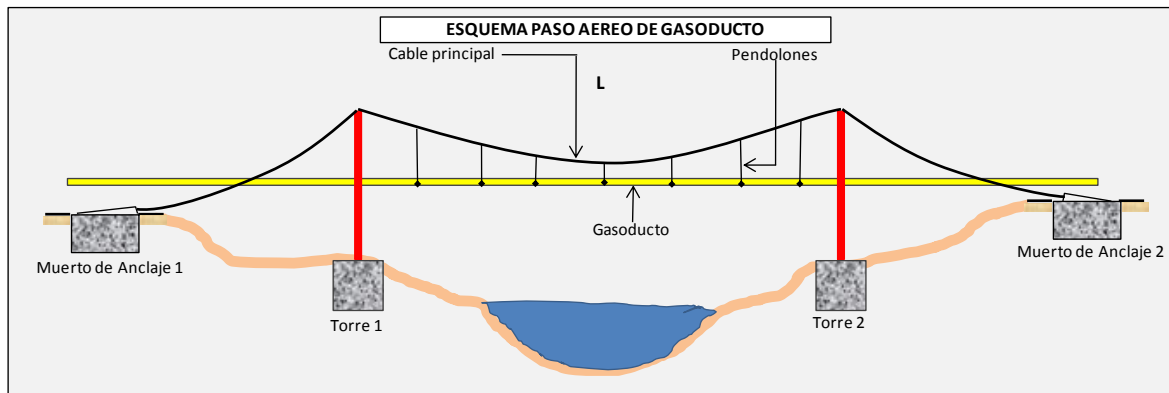
6.5.2 Pasos elevados de tubería

Los pasos elevados de tubería son estructuras muy utilizadas para sobrepasar o superar terrenos inestables complicados y corrientes de agua como ríos, arroyos o



quebradas. Estas estructuras constan de dos torres entre las cuales se suspende un cable principal el cual es el que soporta el peso de la tubería. El peso de la tubería de gas es transmitido al cable principal a través de cables de menor diámetro comúnmente llamados pendolones. Los extremos del cable principal son anclados al terreno a través de estructuras de concreto reforzado que se denominadas en el medio como muertos de anclaje.

Figura 25. Esquema paso aéreo de gasoducto



Fuente: El autor

Como aporte de esta tesis de grado se diseñó una hoja electrónica en Excel que permite calcular la resistencia del cable principal y pendolones requerida, las dimensiones de los muertos de anclaje y de las cimentaciones de las torres.



7. LIBROS EN EXCEL PARA DISEÑAR OBRAS GEOTÉCNICAS

7.1 DISEÑO DE MUROS DE CONTENCIÓN EN GAVIONES

7.1.1 Alcance

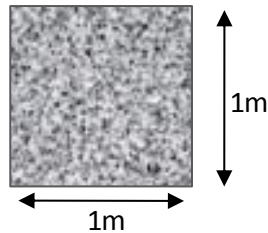
Este libro en Excel está compuesto por dos hojas de cálculo que permiten diseñar muros de contención en gaviones de 1 hasta 5 metros de altura. El relleno soportado por el muro puede ser modelado por un solo tipo de material o por dos tipos de materiales totalmente distintos. Tiene en cuenta la densidad, la cohesión, el ángulo de fricción interna y el estado de saturación de cada uno de los suelos. También contempla el ángulo de fricción muro-suelo y trabaja para cualquier ángulo de inclinación del relleno, siempre y cuando no sea mayor que el ángulo de fricción interna de alguno de los suelos, debido a que los empujes laterales se calculan aplicando la teoría de Coulomb, la cual tiene esta restricción.

La primera hoja llamada “Calculo de empujes” calcula los empujes del terreno, del agua y por sismos que debe resistir el muro en gaviones. La segunda hoja llamada “Diseño muro” realiza el chequeo por deslizamiento y por vuelco de la estructura; también efectúa el análisis de la cimentación calculando la resistencia mínima requerida del suelo portante y verificando que la posición de la fuerza resultante sobre el terreno quede en el tercio de la mitad de la base del muro, tal como lo exige la norma.

El libro en Excel aplica para diseño de muros en gaviones conformados por canastas rectangulares de sección transversal de 1 m * 1 m, que son el tipo de sección más utilizado en la práctica.



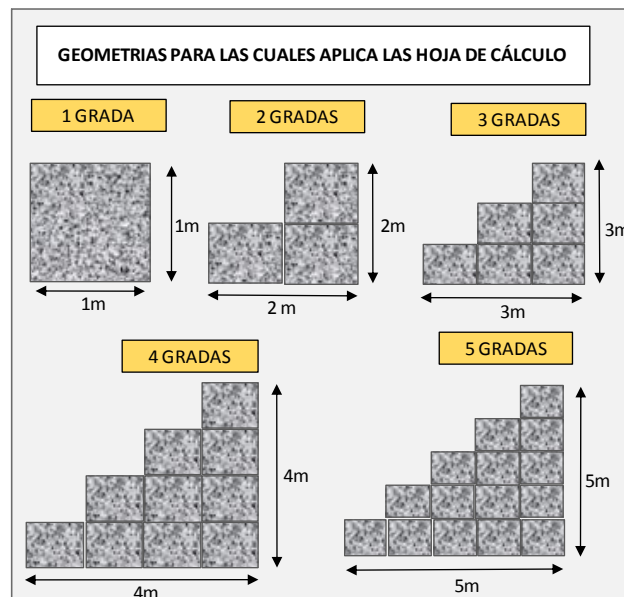
Figura 26. Dimensiones de la canasta rectangular de los gaviones para los cuales aplica la hoja de cálculo



Fuente: El autor

Trabaja utilizando la configuración más común para éste tipo de obras, que consiste en ordenar los bloques en forma de escalera. Por tanto, ésta hoja electrónica permite diseñar muros de gaviones con las siguientes configuraciones geométricas:

Figura 27. Configuraciones geométricas para las cuales aplica la hoja de cálculo para gaviones



Fuente: El autor



7.1.2 Manejo

Únicamente se deben ingresar datos en las casillas de fondo blanco, los valores que aparecen en las casillas de fondo rosado son calculados automáticamente, estas casillas no se deben modificar.

7.1.2.1 Hoja 1-Cálculo de empujes

7.1.2.1.1 Ingreso de datos

- Numeral 1- Parámetros generales del problema

En este numeral se deben ingresar los parámetros conocidos y parámetros estimables.

Figura 28. Diseño de gaviones-Ingreso de datos, parámetros generales del muro en gaviones

1 PARAMETROS GENERALES

Conocidos		
	Grados	Radianes
α	90 °	1,57
β	15 °	0,26

Estimables		
	Grados	Radianes
δ	25 °	0,44
K_n	0,2	

Fuente: El autor

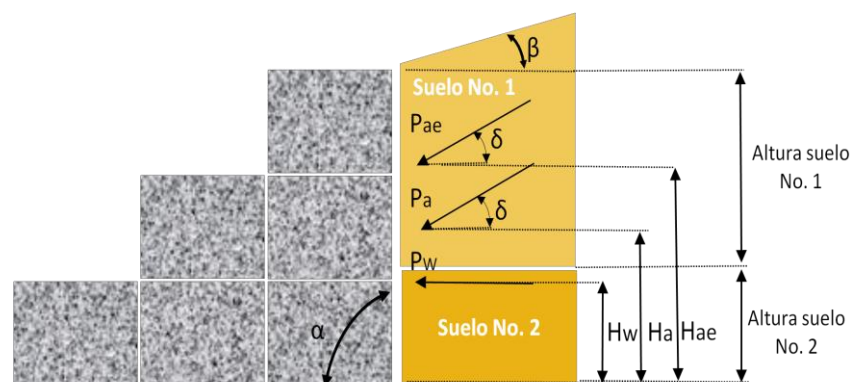
- Parámetros conocidos:



α : Ángulo de inclinación del muro. El libro en Excel está diseñado para muros en gaviones donde $\alpha = 90^\circ$ (**Ver figura 30**). Sin embargo éste valor se deja libre y puede modificarse de tal modo que el usuario pueda utilizar la hoja “Calculo de empujes” para hallar el empuje de un relleno soportado por un muro de inclinación diferente a 90° . Es decir, si $\alpha \neq 90^\circ$ la hoja sirve únicamente para calcular el empuje del terreno, el empuje por sismos y la presión de poros, mas no para el diseño del muro de contención. Unidad: Grados sexagesimales.

B: Ángulo de inclinación del relleno o ángulo de inclinación del talud. Unidad: Grados sexagesimales (**Ver figura 30**)

Figura 29. Diseño de gaviones - Esquema representativo del problema



Fuente: El autor

- Parámetros estimables:

δ : Ángulo de rozamiento Terreno-Muro. Se recomienda para muros en gaviones tomar $\delta = 0.9 \cdot \varphi$, donde φ : Ángulo de fricción interna del suelo. Si el relleno está conformado por dos suelos con diferente ángulo de fricción interna, se recomienda tomar el ángulo de fricción interna menor para el cálculo de δ . Unidad: Grados Sexagesimales.



Kn: Aa: coeficiente que representa la aceleración horizontal pico efectiva. Este coeficiente se utiliza en el cálculo del empuje por sismos. En la parte inferior de la hoja de cálculo se anexa el mapa de Colombia con los valores de Aa según la región del país.

➤ Numeral 2 - Parámetros propios de cada suelo

En este numeral se deben ingresar las propiedades de cada uno de los materiales que conforman el relleno.

Figura 30. Diseño de gaviones - Parámetros propios de cada suelo

2 PARAMETROS PROPIOS DE CADA SUELO

Suelo Número 1				
Altura	1,00 [m]	γ	2,00 [Ton/m ³]	
C	4,00 [Ton/m ²]	Saturado	no	
φ	Grados	Radianes	Ka	0,47
	25°	0,44		

Módulo 1

Suelo Número 2				
Altura	3,00 [m]	γ	2,00 [Ton/m ³]	
C	2,00 [Ton/m ²]	Saturado	si	
φ	Grados	Radianes	Ka	1,03
	15°	0,26		

Módulo 2

Fuente: El autor

- Ingreso de datos cuando el relleno está compuesto por dos suelos distintos.

Cuando el relleno soportado por el muro está compuesto por dos tipos de suelos se deben ingresar las características de cada uno de la siguiente manera:

En el primer módulo ingresamos las propiedades del suelo No. 1 que es aquel que se encuentra en la parte superior del relleno (**Ver figura 30 y 31**).

Se deben ingresar los siguientes valores:



Altura: representa la altura del Suelo No. 1. Unidad: Metros (**Ver figura 30 y 31**).

C: Cohesión del suelo No. 1. Unidad: Ton/m²

γ : Densidad del suelo Unidad No. 1 Ton/m²

ϕ : Ángulo de fricción interna del suelo No. 1. Unidad: Grados Sexagesimales.

Saturado: esta casilla es para definir el estado de saturación del suelo. En caso de que el material se encuentre saturado se debe seleccionar la opción “si”, de lo contrario se selecciona la opción “no”.

En el módulo No. 2 ingresamos las propiedades del suelo No. 2, que es que se encuentra en la parte inferior del relleno (**Ver figura 29**) de igual forma como se hizo para el suelo No.1.

En la parte inferior de la hoja se anexan dos tablas con las propiedades de distintos tipos de suelos, con el fin de que el usuario pueda estimar las propiedades del material si no se realizaron los estudios de suelos respectivos.

- Ingreso de datos cuando el relleno está compuesto por un solo suelo.

Si el relleno únicamente se va modelar con un solo tipo material, se ingresan los datos de igual manera como si se estuviera trabajando con dos tipos de suelos distintos como se explicó anteriormente, sin embargo tanto en el módulo No. 1 como en el No.2, se ingresan las propiedades del único suelo y la suma de las dos alturas debe ser la altura total del material.

Ejemplo

Si el relleno soportado por el muro es una arena compacta no saturada con las siguientes características:



γ : 2.00 [Ton/m³]

C: 0.1 [Ton/m²]

Φ : 32°

Altura relleno: 4 m

Entonces, una de las formas de caracterizar este relleno en la hoja de cálculo es la mostrada en la **figura 31**. Nótese que la suma de la altura del suelo número 1 y del suelo número 2 debe ser 4m. También se hubiera podido poner en el módulo 1 una altura de 4m y en el módulo 2 una altura de 0 m.

Figura 31. Diseño de gaviones – Ejemplo para modelar un relleno conformado por un solo tipo de suelo

2 PARAMETROS PROPIOS DE CADA SUELO

Suelo Número 1				
Altura	2,00 [m]		γ	2,00 [Ton/m ³]
C	0,10 [Ton/m ²]		Saturado	no
ϕ	Grados	Radianes	Ka	0,37
	30°	0,52		

} Módulo 1

Suelo Número 2				
Altura	2,00 [m]		γ	2,00 [Ton/m ³]
C	0,10 [Ton/m ²]		Saturado	no
ϕ	Grados	Radianes	Ka	0,37
	30°	0,52		

} Módulo 2

Fuente: El autor

7.1.2.1.2 Resultados

Con el ingreso de los datos anteriores se pueden conocer el empuje del terreno (Pa), el empuje del agua (Pw) y el empuje por sismos (Pae) sobre el muro y sus respectivos puntos de aplicación. Estos resultados se muestran en la parte inferior de la página 1 de la hoja “Cálculo de empujes”.

**Figura 32.** Diseño de gaviones – Empujes totales

EMPUJES TOTALES POR EL TERRENO, POR SISMOS Y POR LA PRESIÓN DE POROS

Empuje del suelo		Empuje por sismos		Empuje del agua	
P_a	5,58 [Ton/m]	P_{ae}	2,40 [Ton/m]	P_w	0,00 [Ton/m]
P_{aH}	2,36 [Ton/m]	P_{aeH}	2,18 [Ton/m]	H_w	0,00 [m]
P_{aV}	5,06 [Ton/m]	P_{aeV}	1,01 [Ton/m]		
H_a	1,32 [m]	H_{ae}	2,40 [m]		

Fuente: El autor

Donde:

 P_a : empuje del suelo en Ton/m **P_{aH}** : componente horizontal del empuje del suelo en Ton/m **P_{aV}** : componente vertical del empuje del suelo en Ton/m **H_a** : punto de aplicación del empuje del suelo en metros medidos desde la parte inferior del relleno (**Ver figura 29**) **P_{ae}** : empuje por sismos en Ton/m **P_{aeH}** : componente horizontal del empuje por sismos en Ton/m **P_{aeV}** : componente vertical del empuje por sismos en Ton/m **H_{ae}** : punto de aplicación del empuje por sismos en metros medidos desde la parte inferior del relleno (**Ver figura 29**) **P_w** : empuje del agua en Ton/m **H_w** : punto de aplicación del empuje del agua en metros medidos desde la parte inferior del relleno (**Ver figura 29**)



7.1.2.2 Hoja 2 - Diseño muro

Ya conocidos los valores de las fuerzas actuantes se pasa al diseño del muro en gaviones.

7.1.2.2.1 Ingreso de datos

En el módulo Características del muro en gaviones se debe elegir en la casilla Gradadas con cuál de las 5 configuraciones geométricas se va a trabajar (**Ver figura 27**) dependiendo de la altura del relleno. Seguidamente se ingresa el valor de la densidad del muro en Ton/m en la casilla γ_{gav} .

Figura 33. Diseño de gaviones – Características del muro

Características del Muro en Gaviones	
Gradadas	5
γ_{gav}	2,00 [Ton/m ³]

Fuente: El autor

7.1.2.2.2 Resultados

Después de haber ingresado estos datos se pasa a verificar si el diseño cumple con las exigencias establecidas por la NSR-10.

➤ Numerales 1 y 2

En el numeral 1 se calculan las fuerzas y momentos estabilizantes. En el numeral 2 se calculan las fuerzas y momentos desestabilizantes.



Figura 34. Diseño de muros – Cálculo de fuerzas y momentos estabilizantes.

1. CÁLCULO DE FUERZAS Y MOMENTOS ESTABILIZANTES			
1.1 Fuerzas y Momentos generados por el Muro de Gaviones		1.2 Componentes verticales de los empujes del Suelo y de Sismo	
Gradas del muro	Peso (wm)	Xc	F*Xc
1	2,00 [Ton]	2,50 [m]	5,00 [Ton/m]
2	4,00 [Ton]	2,00 [m]	8,00 [Ton/m]
3	6,00 [Ton]	1,50 [m]	9,00 [Ton/m]

Nombre	Fuerza	Xc	F*Xc
PaV	4,38 [Ton]	3,00 [m]	13,15 [Ton/m]
PaeV	2,40 [Ton]	3,00 [m]	7,20 [Ton/m]

Fuerza y Momento resistente	
Fv (Fuerzas resistentes)	12,00 [Ton]
Mr (Mresistente)	22,00 [Ton/m]

Fuente: El autor

Figura 35. Diseño de muros – Cálculo de fuerzas y momentos desestabilizantes.

2. CÁLCULO DE FUERZAS Y MOMENTOS DESESTABILIZANTES			
2.1 Componentes horizontales del empuje del Suelo, Sismos y de la P. de Poros			
Nombre	Fuerza	Xc	F*Xc
PaH	2,04 [Ton]	1,42 [m]	2,90 [Ton/m]
PaeH	0,00 [Ton]	0,00 [m]	0,00 [Ton/m]
Pw	2,00 [Ton]	0,67 [m]	1,33 [Ton/m]

Fuerza y Momento desestabilizante	
FD (Fuerzas deslizantes)	4,04 [Ton]
MV (Momento de vuelco)	4,23 [Ton]

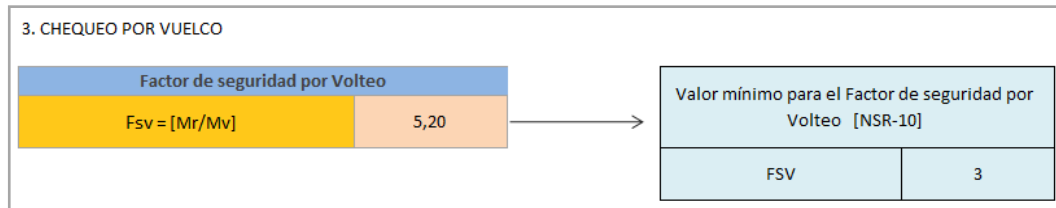
Fuente: El autor

➤ Numeral 3 - Chequeo por vuelco

En el numeral 3 aparece calculado el valor del factor de seguridad por vuelco (Fsv) con el que se está trabajando. Según la NSR-10 para este tipo de estructuras debe ser mayor o igual a 3



Figura 36. Diseño de gaviones – Chequeo por vuelco

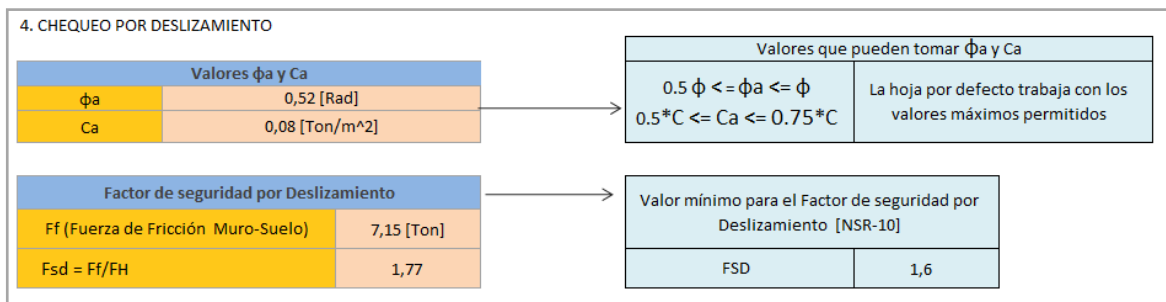


Fuente: el autor

➤ Numeral 4 - Chequeo por deslizamiento

En el numeral 4 aparece calculado el valor del factor de seguridad por deslizamiento (F_{sd}) con el que se está trabajando. Según la NSR-10 para este tipo de estructuras debe ser mayor o igual a 1.6

Figura 37. Diseño de gaviones – Chequeo por deslizamiento



Fuente: El autor

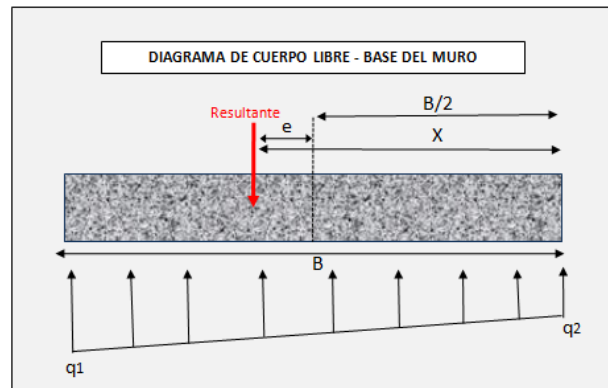
➤ Numeral 5 - Análisis de la cimentación

En el numeral 5 se realiza el análisis de la cimentación que consta de un chequeo de la posición de la resultante y del cálculo de la capacidad portante del suelo que va servir de cimentación para el muro.



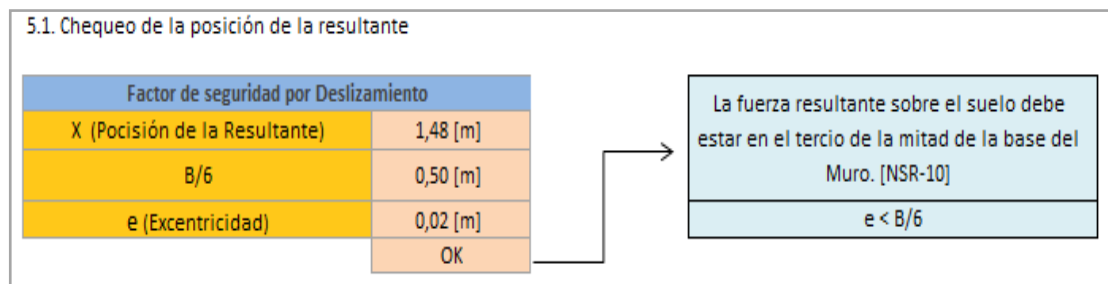
- En el numeral 5.1 se verifica que la posición de la fuerza resultante sobre el terreno quede en el tercio de la mitad de la base del muro, es decir que la excentricidad sea menor que $B/6$, donde B es el ancho de la base.

Figura 38. Diseño de gaviones – Diagrama de cuerpo libre de la cimentación



Fuente: El autor

Figura 39. Diseño de gaviones – Chequeo de la posición de la resultante



Fuente: El autor

- En el numeral 5.2 se calcula el valor de la presión sobre el suelo en cada extremo de la base (**ver figura 38**)

**Figura 40.** Diseño de gaviones – Capacidad del suelo portante

5.2 Capacidad del suelo	
Capacidad portante del suelo	
q1	4,16 [Ton/m ²]
q2	3,84 [Ton/m ²]

Fuente: El autor

La capacidad portante del terreno de cimentación debe ser como mínimo el valor máximo entre q1 y q2.

El usuario del libro en Excel debe revisar que el diseño cumpla con los factores de seguridad establecidos exigidos por la norma; en caso tal de que no se cumplan, debe realizar las modificaciones que permitan aumentar las fuerzas resistentes del sistema y hacer la estructura más segura.

7.1.3 Detalles del libro en Excel

- Los empujes sobre el muro son calculados aplicando la teoría de Coulomb.

El coeficiente de empuje lateral “Ka” de cada suelo es calculado con la formula de Coulomb así:

$$k_a = \frac{\text{sen}^2(\alpha + \Phi)}{\text{sen}^2\alpha * \text{sen}(\alpha - \delta) \left[1 + \sqrt{\frac{\text{sen}(\alpha + \delta) * \text{sen}(\phi - \beta)}{\text{sen}(\alpha - \delta) * \text{sen}(\alpha + \beta)}} \right]^2}$$

- Cada punto del diagrama de presiones del suelo se calcula mediante la ecuación:



$$p_a = H * \gamma * K_a - 2 * C * \sqrt{K_a} \text{ [ton/m}^2\text{]}$$

- Cada punto del diagrama de presión de poros se calcula mediante la ecuación:

$$p_w = \frac{1}{2} * H * \gamma_w \text{ [ton/m}^2\text{]}$$

- La magnitud del empuje del suelo (P_a) y del agua (P_w) se calcula hallando el área que forman sus respectivos diagramas de presiones con el eje vertical. El punto de aplicación de cada empuje es la ordenada del centroide de dichas áreas.

- La magnitud del empuje por sismos se calcula como:

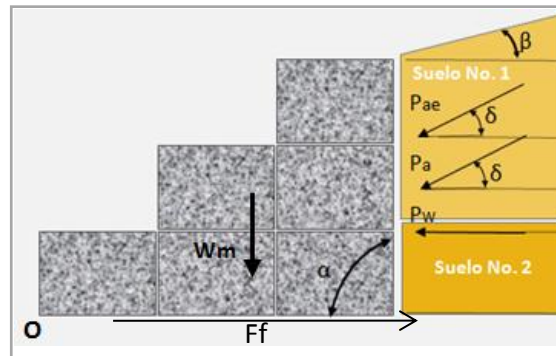
$$p_{ae} = \frac{3 * K_n * \gamma_m H_{total}}{8} \text{ [ton/m]}$$

Donde $\gamma_m = \frac{\sum \gamma_{mi} * H_i}{H_{total}}$

- La fuerza resistente es la sumatoria de todas las fuerzas verticales, y la fuerza deslizante es la suma de las componentes horizontales de la presión de poros, la presión por sismo y la presión del terreno.
- El momento resistente (M_r) es la suma de los momentos generados por las fuerzas verticales respecto al punto O. (**Ver figura 41**)
- El momento desestabilizante o de vuelco (M_v) es la suma de los momentos generados por las fuerzas horizontales respecto al punto O. (**Ver figura 41**)



Figura 41. Diseño de gaviones – Diagrama de cuerpo libre



Fuente: El autor

- El factor de seguridad por vuelco es el cociente entre el momento resistente y el momento de vuelco.

$$F_{sv} = \frac{M_r}{M_v}$$

- La fuerza de fricción muro-suelo (F_f) se calcula así:

$$F_f = F_r * \tan(\phi_a) + C_a * B \text{ [ton/m]}$$

Donde:

ϕ_a : ángulo de fricción interna del suelo ubicado en la parte inferior del relleno.

Ca: $0.75 * C$, donde C es la cohesión del suelo ubicado en la parte inferior del relleno.

- El factor de seguridad por deslizamiento es el cociente entre la fuerza de fricción muro-suelo y la fuerza deslizante.



$$F_{sd} = \frac{F_f}{F_d}$$

- Respecto al análisis de la cimentación la posición de la resultante se calcula con la formula:

$$X = \frac{M_r - M_v}{F_r}$$

- La excentricidad (e) se calcula de la siguiente forma:

$$e = |X - B/2|$$

Si “e” es menor que “B/6”, la resultante se encuentra en el tercio de la mitad de la base.

- El cálculo de las presiones sobre el suelo q1 y q2 se realiza mediante la ecuación:

$$q_1 = \frac{F_r * (1 + 6 * (e/B))}{B} \text{ [ton/m}^2\text{]}$$

$$q_2 = \frac{F_r * (1 - 6 * (e/B))}{B} \text{ [ton/m}^2\text{]}$$

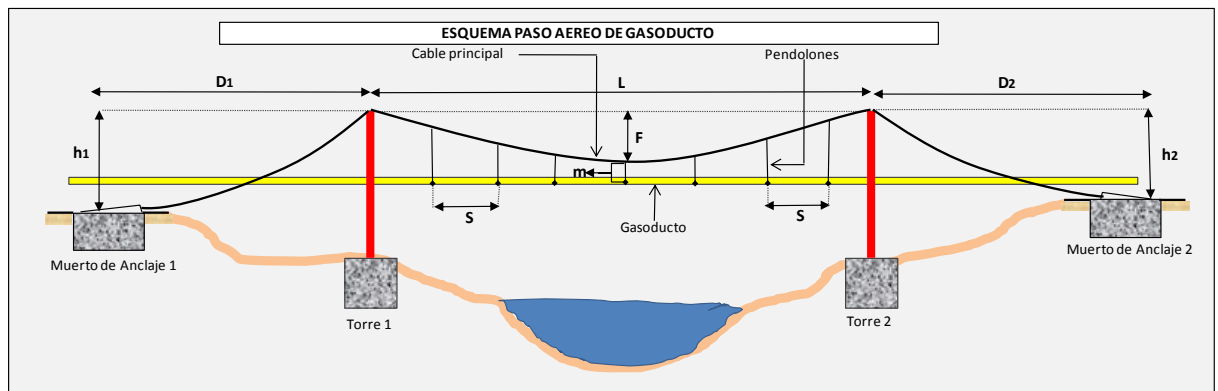


7.2 DISEÑO DE PASOS ELEVADOS DE GASODUCTOS

7.2.1 Alcance

Este libro en Excel está compuesto por dos hojas de cálculo que permiten el diseño del cable principal, los pendolones y las cimentaciones de pasos elevados de gasoductos. Los extremos del cable principal suspendido entre las torres deben estar a la misma cota. Los muertos de anclaje pueden estar ubicados a cualquier distancia horizontal y vertical respecto de las torres. Permite conocer la longitud y tensión del cable principal y los pendolones, las dimensiones de los muertos de anclaje para que no fallen por deslizamiento y por vuelco y las dimensiones de las bases de las torres para que no fallen por cortante.

Figura 42. Diseño paso elevado de gasoducto – Esquema paso aéreo



Fuente: El autor

La primera hoja de cálculo llamada "Tensión cables" es para el diseño del cable principal y los pendolones. La segunda hoja de cálculo llamada "Cimentaciones" es para el dimensionamiento de los muertos de anclaje y de las bases de las torres.



7.2.2 Manejo

Únicamente se deben ingresar datos en las casillas de fondo blanco, los valores que aparecen en las casillas de fondo rosado son calculados automáticamente, estas casillas no se deben modificar.

7.2.2.1 Hoja 1- Tensión cables

En esta hoja se realiza el diseño del cable principal y los pendolones del paso elevado.

7.2.2.1.1 Ingreso de datos y análisis de resultados

➤ Numeral 1- Parámetros generales

Este numeral está conformado por dos módulos en los cuales se definen los parámetros generales del problema.

Figura 43. Diseño paso elevado de gasoducto – Parámetros generales de la estructura

1. PARAMETROS GENERALES		
Longitud, Flecha y m del paso Elevado		
L	25,00 [m]	Lcable entre torres
F	3,80 [m]	26,46 [m]
m	1,00 [m]	

Ubicación muertos de anclaje			
Muerto No. 1		Muerto No. 2	
D1	9,66 [m]	D2	9,66 [m]
h1	0,65 [m]	h2	0,65 [m]

Fuente: El autor

- Módulo 1 - Longitud, flecha y m del paso elevado

Se deben ingresar los siguientes datos:



L: Longitud del paso elevado del gasoducto. Unidad: metros

F: Flecha, distancia vertical entre el punto más elevado del cable (Extremos) y el punto más bajo del mismo (**ver figura 42**). Se debe escoger la flecha más grande posible de acuerdo a las condiciones del problema, ya que entre más grande sea la flecha utilizada menor será la tensión en el cable principal. Unidad: metros

m: Distancia mínima entre el cable principal y la tubería del gasoducto (**ver figura 42**). Unidad: metros

- Módulo 2 - Ubicación muertos de anclaje

En este módulo se define la posición de los muertos de anclaje. Se deben ingresar los siguientes datos:

D1: distancia horizontal entre el Muerto de anclaje 1 y la Torre 1 (**ver figura 42**).
Unidad: metros

h1: distancia vertical entre el Muerto de anclaje 1 y el punto más elevado de la Torre 1 (**ver figura 42**). Unidad: metros

D2: distancia horizontal entre el Muerto de anclaje 2 y la Torre 2 (**ver figura 42**).
Unidad: metros

h2: distancia vertical entre el Muerto de anclaje 2 y el punto más elevado de la Torre 2 (**ver figura 42**). Unidad: metros

En la casilla “Lcable entre torres” aparece calculada la longitud del cable principal suspendido entre ambas torres.



➤ Numeral 2- Características de la tubería de gas

En este numeral se definen las dimensiones de la tubería que va a ser soportada por el cruce aéreo.

Figura 44. Diseño paso elevado de gasoducto – Características de la tubería

2 CARACTERÍSTICAS TUBERÍA DE GAS		
Dimensiones Tubería del Gasoducto		
Φ ext	200,00 [mm]	Φ int
e	7,92 [mm]	184,15 [mm]

Fuente: El autor

Se deben ingresar los siguientes datos:

Φ ext: Diámetro externo del la tubería. Unidad: milímetros

E: espesor de la tubería. Unidad: milímetros

➤ Numeral 3 - Cálculo de la carga muerta sobre el cable (D)

En este numeral se calcula la carga muerta sobre el cable principal debido al peso de la tubería de gas vacía.

Figura 45. Diseño de paso elevado de gasoducto – Cálculo de la carga muerta

3 CÁLCULO CARGA MUERTA SOBRE EL CABLE (D)	
Peso propio de la tubería de gas	
Peso tubería vacía	37,84 [Kgf/m]

Fuente: El autor



➤ Numeral 4 - Cálculo de la carga viva

En este numeral se calcula el valor de la carga viva producida por el peso del fluido que transporta la tubería.

Figura 46. Diseño de paso elevado de gasoducto – Cálculo de la carga viva

4 CÁLCULO CARGA VIVA (L)	
Carga viva permanente (FLUIDO)	
Peso tubería llena de agua	26,63 [Kgf/m]

Fuente: El autor

➤ Numeral 5 - Cálculo carga por viento (W)

En este numeral se calcula la tensión generada en el cable debido a la presión del viento. La carga por viento se calcula aplicando la NSR-98.

Figura 47. Diseño de paso elevado de gasoducto – Cálculo de la carga por viento

5 CÁLCULO CARGA POR VIENTO (W)		NSR 98 B.6.4.2.1
Análisis carga por viento NSR-98		
V	Velocidad básica del viento	100,00 [Km/h]
q	Presión dinámica del viento	0,62 [Kn/m ²]
S4	Coficiente densidad del aire	0,94
Cp	Coficiente de presión	0,7
P	Presión sobre la superficie	40,80 [Kgf/m ²]
Presión por metro lineal de la tubería		
Fw=		8,16 [Kgf/m]

Fuente: El autor



Datos a ingresar:

V: velocidad básica del viento. En página 2 de la hoja de cálculo se anexa el “Mapa de amenaza eólica: velocidad del viento” del cual se extrae la velocidad del viento de diseño dependiendo de la región del país donde se vaya a construir la estructura.

Los valores de **q**, **S₄** y **C_p** se extraen de las tablas B.6.6, B.6.4-1 y B.6.4-2 respectivamente. Dichas tablas están anexas en la página 3 de la hoja de cálculo.

➤ Numeral 6 - Cálculo de la carga última (W_u)

En este numeral se calcula el valor de la carga última sobre el cable la cual depende de la carga muerta, la carga viva y la carga por viento.

Figura 48. Diseño de paso elevado de gasoducto – Cálculo de la carga última

6 CÁLCULO CARGA ÚLTIMA (W_u)		
Combo B.2.2-4 NSR-10		
W_u	$1.2*D + 1.6*W + 1.0*L$	85,09 [Kgf/m]

Fuente: El autor

➤ Numeral 7 - Tensión máxima cable principal

En este numeral se calcula la tensión máxima sobre el cable principal y los pendolones y se realiza el diseño de los mismos. Está compuesto por 6 módulos que se describirán a continuación.



En la página 5 de la hoja de cálculo aparece una tabla donde se muestran las propiedades de los distintos tipos de cables ofrecidos por uno de los principales fabricantes del país.

- Módulo 1 - Tensión en el cable principal por W_u .

En este módulo se calcula la tensión máxima del cable principal debido a la carga última W_u .

Figura 49. Diseño de paso elevado de gasoducto – Cálculo de la tensión máxima en el cable principal debido a W_u

Tensión en el cable principal por W_u			
T_H	Tensión horizontal por W_u	1749,40 [Kgf]	
$\alpha_{m\acute{a}x}$	Angulo máx entre el cable y la horizontal	0,55 [rad]	31,30 °
$T_{m\acute{a}x}$	Tensión máx cable principal por W_u unicamente	2047,37 [Kgf]	2,05 [Ton]

Fuente: El autor

- Módulo 2 - Tensión por peso propio del cable principal

Figura 50. Diseño de paso elevado de gasoducto – Predimensionamiento cable principal

Tensión por peso propio del cable principal			
Diametro	1/2"; 10 Ton	Predimensionamiento del cable, su resistencia debe ser mayor a	8,00 [Ton]
Peso	Peso cable [Suministrado por el fabricante]		0,68 [Kgf/m]
T_{Hc}	Tensión horizontal máx por peso propio cable		13,98 [Kgf]

Fuente: El autor

En este módulo se realiza el predimensionamiento del cable principal. En la casilla encerrada en el círculo rojo en la **figura 50**, aparece calculada la resistencia



mínima del cable que se requiere para que soporte la tensión producida por la carga última (W_u), utilizando un factor de seguridad recomendado de 3.5. Sin embargo hace falta tener en cuenta la carga por el peso propio del cable, la carga por el peso de los pendolones y la carga por temperatura.

Valores a ingresar:

Diámetro: en esta casilla se ingresa el diámetro del cable en pulgadas a utilizar y separada por una coma en la misma casilla se ingresa la resistencia del cable en toneladas, la cual debe ser mayor a la calculada en la casilla señalada con el círculo rojo. La única función de esta casilla es recordar al usuario que tipo de cable ha seleccionado pues no participa en ningún cálculo.

Peso: en esta casilla se ingresa el peso por unidad de longitud del cable seleccionado. Unidad: Kg/m.

- Módulo 3 - Tensión cable principal por peso pendolones

En este módulo se calcula la resistencia requerida de los pendolones a utilizar y la tensión generada en el cable principal por el peso de los mismos.

Figura 51. Diseño de paso elevado de gasoducto – Diseño pendolones

Tensión cable principal por peso pendolones			
S	Separación pendolones		3,00 [m]
Tpendolon	Tensión pendolones		255,27 [Kgf]
Diam. Pendolon	1/4 ", 5	La resistencia mínima debe ser	1,00 [Ton]
No	Número de pendolones		9,00 [UND]
Lpen	Longitud total pendolones		26,10 [m]
Peso Pendolones	0,15 [Kgf/m]	Suministrado por el fabricante	
THpend	Tensión horizontal máx por peso pendolas		3,08 [Kgf]

Fuente: El autor



Datos a ingresar:

S: separación promedio entre los pendolones. Unidad: metro

Diam. Pendolón: en esta casilla se debe ingresar el diámetro del pendolón (en pulgadas) a utilizar y separada por una coma en la misma casilla, se ingresa la resistencia del cable en toneladas, la cual debe ser mayor a la calculada en la casilla señalada con el círculo rojo.

Peso Pendolones: en esta casilla se ingresa el peso por unidad de longitud del cable seleccionado. Unidad: Kg/m

- Módulo 4 - Tensión por temperatura sobre el cable principal.

En este módulo se calcula la tensión en el cable principal debido a cambios de temperatura.

Figura 52. Diseño de paso elevado de gasoducto – Tensión por temperatura del cable principal

Tensión por temperatura sobre el cable principal		
Tht	Tensión horizontal cable principal por temperatura	174,94 [Kgf]

Fuente: El autor

- Módulo 5 - Tensión horizontal máxima cable principal

En este módulo se calcula la tensión horizontal máxima en el cable principal producida por todas las cargas.



Figura 53. Diseño de paso elevado de gasoducto – Tensión máxima horizontal en el cable principal producida por todas las cargas

Tensión máxima horizontal total en el cable principal		
THtotal	Tensión máxma horizontal cable principal	2239,37 [Kgf]

Fuente: El autor

- Módulo 6 - Tensión máxima cable principal

En este módulo se calcula la tensión máxima en el cable principal producida por todas las cargas (W_u , el peso propio del cable, el peso de los pendolones y la tensión por temperatura) y la resistencia que debe tener el mismo.

Figura 54. Diseño de paso elevado de gasoducto – Tensión máxima y resistencia del cable principal

Tensión máxima en el cable		
Tcable	Tensión máx cable principal	2620,80 [Kgf]
Resistencia cable	Resistencia del cable debe ser superior a	9,17 [Ton]

Fuente: El autor

Hay que verificar que la resistencia del cable seleccionado durante el predimensionamiento en el módulo 2 (**ver figura 50**) sea mayor a la calculada en éste modulo donde ya incluyeron todas las cargas sobre el cable principal. Si la resistencia del cable preseleccionado es menor a la calculada en este módulo debe cambiarse el cable por otro de mayor resistencia. Este cambio se realiza en el modulo 2, tensión por peso propio del cable principal, allí se deben ingresar los datos del nuevo cable, es decir el diámetro, la resistencia y el peso por unidad de longitud del cable y por último se debe verificar que este cumpla con la resistencia exigida en el módulo 7. Tenga en cuenta que al aumentar el diámetro del cable aumenta su peso y por ende también lo hace la tensión en el cable principal.



7.2.2.2 Hoja 2 – Cimentaciones

En esta hoja de cálculo se realiza el diseño de los muertos de anclaje y la base de las torres.

7.2.2.2.1 Diseño de los muertos de anclaje – Ingreso de datos y análisis de resultados

El diseño de los muertos de anclaje uno y dos se hace de forma similar, por lo tanto únicamente explicaré como se diseña el muerto de anclaje No. 1 el cual se realiza en la página 1 de esta hoja de cálculo.

➤ Numeral 1- Parámetros generales.

En este numeral se deben ingresar los datos exigidos en los módulos 1.1, 1.2, 1.4, y 1.5.

- Módulo 1.1 - Propiedades del suelo de cimentación

Figura 55. Diseño del muerto de anclaje – Propiedades de la cimentación

1.1 Propiedades del suelo de cimentación		
γ	1900 [Kg/m ³]	
Φ suelo	30 °	0,52 [rad]
Kp	3,00	

Fuente: El autor

Datos a ingresar:

γ : peso específico del suelo. Unidad: Kg/m³

Φ suelo: ángulo de fricción interna del suelo. Unidad: Grados sexagesimales.



- Módulo 1.2 – Características del concreto

Figura 56. Diseño del muerto de anclaje – Características del concreto

1.2 Características del concreto	
γ_c	2400 Kg/m ³
f'_c	3000 psi

Fuente: El autor

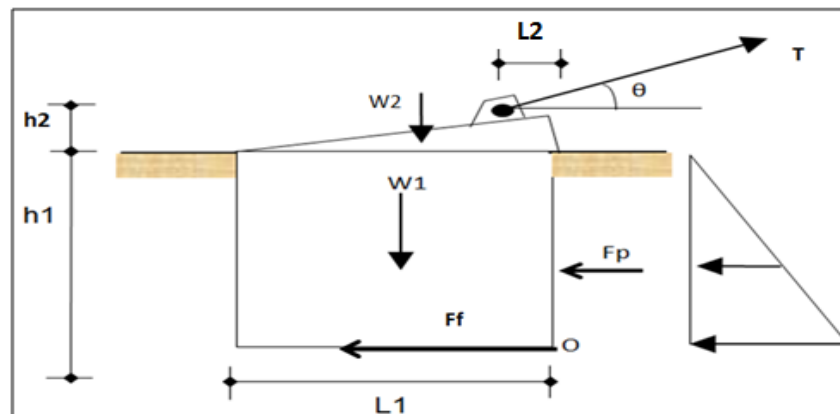
Datos a ingresar:

γ_c : Peso específico del concreto. Unidad: Kg

f'_c : Peso específico del concreto. Unidad: Kg/m³

- Módulos 1.4 y 1.5 – Dimensiones del muerto de anclaje y Dimensiones pedestal superior respectivamente.

Figura 57. Diseño del muerto de anclaje – Dimensiones del muerto de anclaje



1.4 Dimensiones del muerto de anclaje	
$h1$	1,60 [m]
$L1$	1,30 [m]
B	1,50 [m]

1.5 Dimensiones pedestal superior	
$h2$	0,30 [m]
$L2$	0,40 [m]
B	0,80 [m]

Fuente: El autor



Datos a ingresar:

h1: Altura del M. de anclaje.

h2: Altura del P. superior.

L1: Longitud del M. de anclaje.

L2: Posición del punto de anclaje.

B: Ancho del M. de anclaje.

B: Ancho del P. superior.

➤ Numerales 4 y 5 – Chequeo por vuelco y por deslizamiento.

En estos dos numerales se calculan los factores de seguridad F_{sv} y F_{sd} respectivamente.

Figura 58. Diseño del muerto de anclaje – Chequeo por vuelco y por deslizamiento

4. CHEQUEO POR VUELCO		
Factor de seguridad por Volteo		
$F_{sv} = [Mr/Mv]$		2,16
5. CHEQUEO POR DESLIZAMIENTO		
$\phi_a:\phi$		
ϕ_a	30,00 °	0,52 [rad]
Factor de seguridad por Deslizamiento		
F_f (Fuerza de Fricción Muro-Suelo)		4437,77 [Ton]
Factor de seguridad por Deslizamiento		
$F_{SD} = [Mr/Mv]$		5,88

Fuente: El autor



Para este tipo de estructuras no existe una norma establecida, sin embargo algunos diseñadores de de las mismas recomiendan utilizar los siguientes factores de seguridad:

F_{sd}: Factor de seguridad por deslizamiento: 5

F_{sv}: Factor de seguridad por vuelco: 2

El usuario del libro en Excel debe revisar que el diseño cumpla con los factores de seguridad recomendados o los que a su juicio le parezcan adecuados, en caso tal de que no se cumplan o no este a gusto con los factores obtenidos debe realizar las modificaciones que permitan aumentar las fuerzas resistentes del sistema y hacer la estructura más segura.

➤ Numeral 6 – Refuerzo perimetral

Figura 59. Diseño del muerto de anclaje – Refuerzo perimetral

6. REFUERZO PERIMETRAL		
B	150,00 [cm]	
d	152,50 [cm]	
ρ min	0,0018	
As	41,18 [cm ²]	
Diámetro	# 6	15 Barras
Separación	20,00 [cm]	

Fuente: El autor

En este numeral se calcula la separación del refuerzo necesaria para cumplir con la cuantía mínima dependiendo del diámetro del acero utilizado.

Datos a ingresar:

Diámetro: diámetro del refuerzo a utilizar. Unidad: Octavos de pulgada



A los muertos de anclaje se recomienda reforzarlos perimetralmente con acero corrugado utilizando la cuantía mínima que es $\rho: 0,018$.

Por ejemplo, si la separación nos da 15cm utilizando acero # 6, significa que se recomienda poner un emparrillado de 15cm*15cm en cada una de las 6 caras del muerto de anclaje, dejando como mínimo 5 cm de recubrimiento para el acero.

Para el diseño del Muerto de anclaje 2 se realiza exactamente el mismo proceso.

7.2.2.2.2 Diseño de cimentación de las torres – Ingreso de datos y análisis de resultados

Únicamente se diseña la base de la torre que recibe la mayor carga del cable principal.

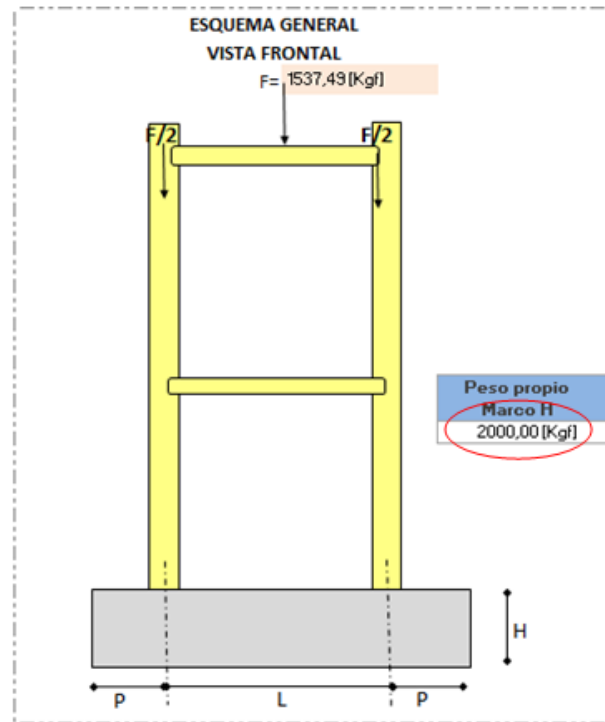
Simplemente se realiza un chequeo para que la base no falle por cortante y se calcula un acero de refuerzo para que cumpla con la cuantía mínima. Igualmente también se calcula la capacidad portante mínima requerida del suelo que se va utilizar como cimentación.

➤ Esquema general de la torre

En este esquema se debe ingresar el peso propio del marco H en kilogramos en la casilla que aparece encerrada en el círculo rojo.



Figura 60. Diseño base de las torre – Esquema general



Fuente: El autor

➤ Numeral 3 - Dimensiones cimentación

Figura 61. Diseño base de las torre – Dimensiones de la cimentación

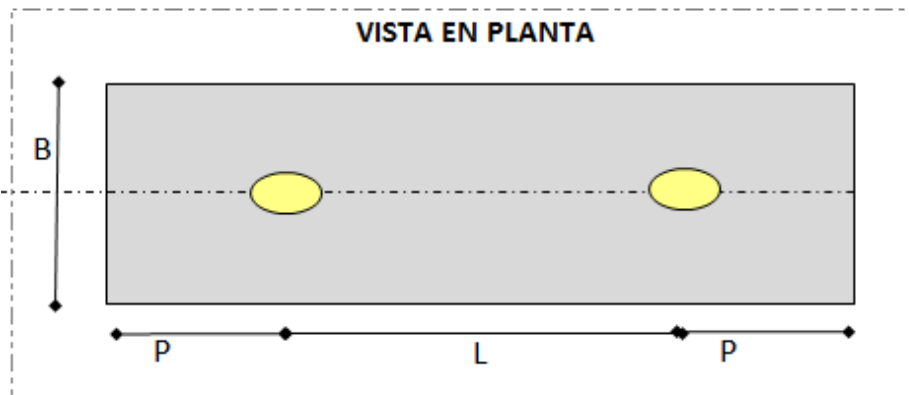
3 Dimensiones Cimentación	
P	0,58 [m]
L	1,34 [m]
B	1,50 [m]
H	0,50 [m]
Peso Propio Cimentación	4500,00 [Kgf]
Área Cimentación	3,75 [m ²]

Fuente: El autor



En este numeral se deben ingresar los valores de P, L, B y H relacionados con la geometría del Marco H y la base de cimentación (**Ver figura 60 y figura 62**)

Figura 62. Diseño base de las torre – Vista en planta



Fuente: El autor

➤ Numeral 5 - Capacidad portante requerida del suelo

En este numeral la hoja calcula la capacidad portante requerida del suelo que va servir de cimentación a la torre.

Figura 63. Diseño base de la torre – Capacidad portante requerida

5 Capacidad portante requerida	
σ_{act}	1429 [Kgf/m ²]

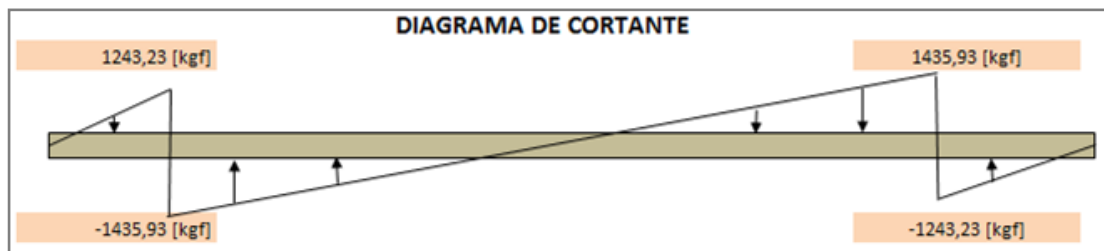
Fuente: El autor

➤ Diagrama de cortante de la base

Con los datos suministrados la hoja de cálculo elabora el diagrama de cortante de la cimentación del cual extrae el cortante máximo que debe resistir el concreto.



Figura 64. Diseño de la base de la torre – Diagrama de cortante



Fuente: El autor

➤ Numeral 6 - Chequeo por cortante

En este numeral se calcula el cortante resistido por el concreto y se compara con el cortante máximo producido por las cargas. De ser mayor el cortante resistido por el concreto se activara la casilla señalada en el círculo rojo en la figura siguiente, indicándole al usuario que las dimensiones de la base cumplen con la resistencia a cortante exigida.

Figura 65. Diseño de la base de la torre – Chequeo por cortante

6. CHEQUEO POR CORTANTE	
Cortante máximo, V_u=	1435,93 [kgf]
Cortante resistido por el concreto	
Φ =	0,85
v_c =	7,64 [kg/cm ²]
d =	42,50 [cm]
B =	150,00 [cm]
$\Phi V_n = \Phi V_c =$	41386,39 [Kgf] ok

Fuente: El autor



➤ Numeral 7 – Refuerzo principal

Figura 66. Diseño base de la torre – Refuerzo principal

7. REFUERZO PRINCIPAL		
B	150,00 [cm]	
d	42,50 [cm]	
ρ min	0,0018	
As	11,48 [cm ²]	
Diámetro	# 3	17 Barras
Separación	18,00 [cm]	

Fuente: El autor

Datos a ingresar:

Diámetro: diámetro del refuerzo en acero a utilizar. Unidad: octavos de pulgada.

El refuerzo calculado en este numeral corresponde a la cuantía mínima, sin embargo se deja a juicio del usuario de la hoja de cálculo si considera que éste es suficiente para que la estructura resista las cargas exigidas. Se recomienda colocar un emparrillado tanto en la cara superior como en la inferior.

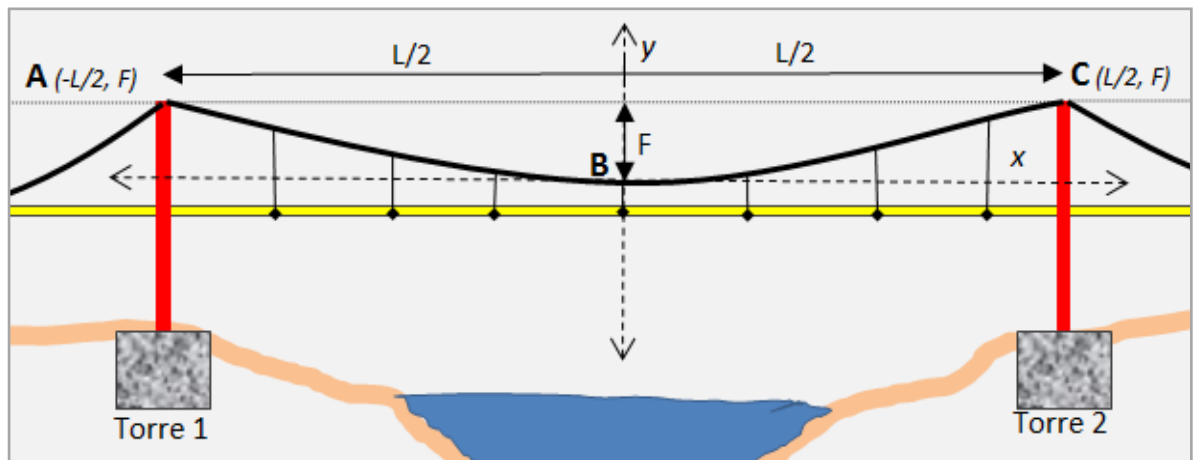
Por ejemplo, si la separación nos da de 18cm utilizando acero #3, significa que es recomendable colocar un emparrillado de 18cm*18cm en acero #3 tanto en la cara superior como en la inferior de la base de la torre.



7.2.3 Detalles del libro en Excel

- La forma que toma el cable suspendido entre las dos torres se aproximó a la parábola que pasa por los puntos A, B y C.

Figura 67. Paso elevado de gasoducto – Representación gráfica del cable principal visto como una parábola



Fuente: El autor

Realizada dicha aproximación y ubicando el eje de coordenadas en el punto B la ecuación de dicha parábola es de la forma $y = d * x^2$.

Como la parábola debe pasar por el punto C de coordenadas $(L/2; F)$ entonces se reemplaza en la ecuación general de la parábola para obtener el valor de la constante d .

Como $F = d * (\frac{L}{2})^2$, entonces:

$$d = \frac{4 * F}{L^2}$$

La longitud del cable es la longitud de la curva parabólica de la forma $y = d * x^2$ entre las abscisas $-L/2$ y $L/2$.



Dicha longitud se halla resolviendo la integral definida: $\int_{-L/2}^{L/2} \sqrt{1 + \frac{dy^2}{dx^2}}$

La solución de esta integral definida que representa la longitud del cable es:

$$L. \text{ Cable: } \frac{\ln \left| \sqrt{(d * L)^2 + 1} + d * L \right| + d * L * \sqrt{(d * L)^2 + 1} + 1}{2 * d}$$

Donde:

L: distancia horizontal entre los extremos del cable en metros.

d = $\frac{4 * F}{L^2}$; siendo F la flecha utilizada en metros.

- La tensión horizontal máxima generada en un suspendido entre dos puntos a la misma altura, debido a cualquier carga distribuida, se calcula con la fórmula:

$$TH = \frac{W * L^2}{8 * F}$$

Donde:

W: carga distribuida, Unidad: Kg/m

L: Luz del cable principal. Unidad: metros

F: Flecha cable principal. Unidad: metros

W representa cualquier carga distribuida sobre el cable por unidad de longitud. Esta fórmula es utilizada por los ingenieros eléctricos para el cálculo de la tensión en cables de redes eléctricas aéreas. Su demostración no se hará en este libro.

- La carga última sobre el cable es calculada utilizando el combo B.2.2-4 de la NSR-10.

$$Wu: 1.2 * D + 1.6 * w + 1.0 * L$$

Donde:



D: carga muerta

L: carga viva

w: carga por viento

- La tensión por temperatura se estimó que es un 10% de la tensión provocada en el cable por la carga última W_u .
- Chequeos por deslizamiento y vuelco de los muertos de anclaje

Estos chequeos se hacen por medio de un análisis semejante al que se hizo para la estabilidad de los muros en gaviones. Los factores de seguridad recomendados son:

Factor de seguridad por vuelco: $F_{sv} > 2$

Factor de seguridad por deslizamiento: $F_{SD} > 5$

La hoja permite conocer la fuerzas transmitidas por el cable principal a los marcos H de la torres, sin embargo el diseño de los mismos corre por cuenta del usuario.



7.3 DISEÑO DE CANALES PARA ESCORRENTIA SUPERFICIAL

7.3.1 Alcance

Esta hoja de cálculo permite el diseño de canales trapezoidales para drenaje superficial teniendo en cuenta las características propias del área de drenaje, como la pendiente, el coeficiente de escurrimiento y la pluviosidad de la zona.

7.3.2 Manejo

Únicamente se deben ingresar datos en las casillas de fondo blanco, los valores que aparecen en las casillas de fondo rosado son calculados automáticamente, estas casillas no se deben modificar.

- Numeral 1 - Parámetros del área a drenar

Figura 68. Diseño de canales – Parámetros del área a drenar

1. PARÁMETROS DEL ÁREA A DRENAR	
L	80,00 [m]
H	5,00 [m/100m]
A	10000,00 [m ²]
C	0,90

Fuente: TGI S.A. E.S.P

En este numeral se deben ingresar los siguientes datos relacionados con las características del área de drenaje:



L: distancia en metros medida sobre la línea natural de flujo entre el punto de diseño y el punto de drenaje más lejano. Unidad: metros.

H: Caída promedio desde la parte más alta del área que se va drenar hasta el punto de diseño. Unidad: m/100m.

A: Área de drenaje. Unidad: m²

C: Coeficiente de escurrimiento. Unidad: Adimensional. En la página 2 de la hoja de cálculo se anexa la Tabla 1 “Coeficientes de escurrimiento” de donde se extrae dicho coeficiente dependiendo del tipo del área de drenaje.

➤ Numeral 2 - Tiempo de concentración

Figura 69. Diseño de canales – Tiempo de concentración de la lluvia

2. TIEMPO DE CONCENTRACIÓN		
Tiempo de concentración Bransby-williams		
tc(min)	8,35 [min]	8,35 [min]

Fuente: El autor

En este numeral se calcula el tiempo de concentración (t_c) de la lluvia aplicando la ecuación de Bransby - Williams. El cálculo de este tiempo es necesario para poder hallar la intensidad de la lluvia de diseño a partir de las curvas IDF de la cuenca.

➤ Numeral 3 - Caudal de diseño

En este numeral se calcula el caudal de diseño en Litros por segundo, aplicando el método racional ($Q = C * I * A$).

**Figura 70.** Diseño de canales – Cálculo del caudal de diseño

3. CAUDAL DE DISEÑO	
$i_{\text{Diseño}}$	8,00 [mm/hora]
Q	72000,00 [Lt/sg]

Fuente: El autor

Datos a ingresar:

$i_{\text{Diseño}}$: Intensidad de la lluvia de diseño. Unidad: mm/hora. La intensidad de la lluvia de diseño debe obtenerse a partir de las curvas IDF (Intensidad- Frecuencia- Duración) características de la cuenca hidrológica. Conociendo el tiempo de concentración (t_c) del área a drenar y el tiempo de duración para el cual se van a proyectar las obras (tiempo de retorno), entramos a la curvas IDF y obtenemos la intensidad de diseño.

Estas curvas son propias de cada cuenca y su elaboración debe hacerse a partir de los registros de precipitación de la zona, los cuales son suministrados por el DANE.

Numeral 4 - Parámetros del canal

En este numeral se diseña el canal trapezoidal de tal manera que cumpla con el caudal exigido y la velocidad permitida.

**Figura 71.** Diseño de canales – Parámetros del canal

4 PARAMETROS DEL CANAL	
QDISEÑO	72,00 [m ³ /sg]
n	0,013
S	0,05
Z	2,00
B	7,00 [m]
h	0,71 [m]
$\frac{n \times Q}{\sqrt{S}} - A \times R^{\frac{2}{3}}$	7,64063E-07
$V = \frac{1}{n} * [R^{0,67} * S^{0,5}]$	12,04 [m/s]

Cálculo el valor de "h" tal que ésta casilla sea cero; ese "h" es aquel que cumple con el área de sección requerida para cumplir con el caudal de diseño. (Recomendación: Utilice el complemento Solver)

Fuente: El autor

Datos a ingresar:

n: Coeficiente de Manning. Unidad: Adimensional. En la página 3 de la hoja de cálculo se anexa la Tabla 3 “Coeficientes de Manning” de donde se extrae dicho coeficiente según el recubrimiento del canal.

S: Pendiente promedio del canal. Unidad: Adimensional. La pendiente mínima recomendada es del 2% para impedir la sedimentación. Si existe la posibilidad de transporte de gravas o bloques, se requieren pendientes superiores.

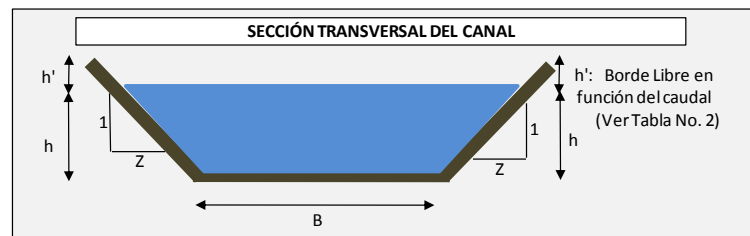
Inicialmente se debe asumir tanto el ancho (B) como la pendiente lateral (z) del canal (**Ver figura 72**) para calcular la altura del mismo que cumpla con el caudal exigido.

Z: Pendiente del talud en metros horizontales por metro de altura.

B: ancho de la base del canal. Unidad: metros.



Figura 72. Diseño de canal – Sección transversal del canal

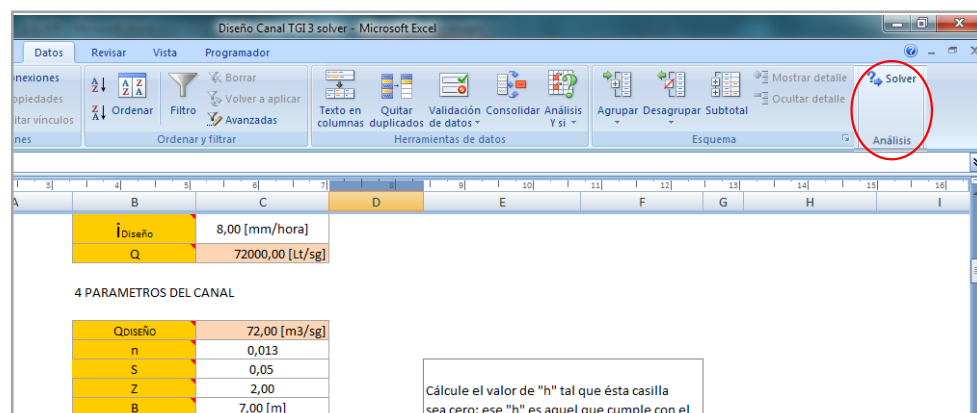


Fuente: El autor

- Cálculo de “h” utilizando el complemento de Excel llamado Solver.

El cálculo de “h” se debe hacer utilizando el complemento Solver que está ubicado en el menú de Datos localizado en la cinta de opciones de Excel (Si no aparece es porque esta desactivado, en complementos de Excel se activa dicha función).

Figura 73. Ubicación de el complemento Solver de Excel



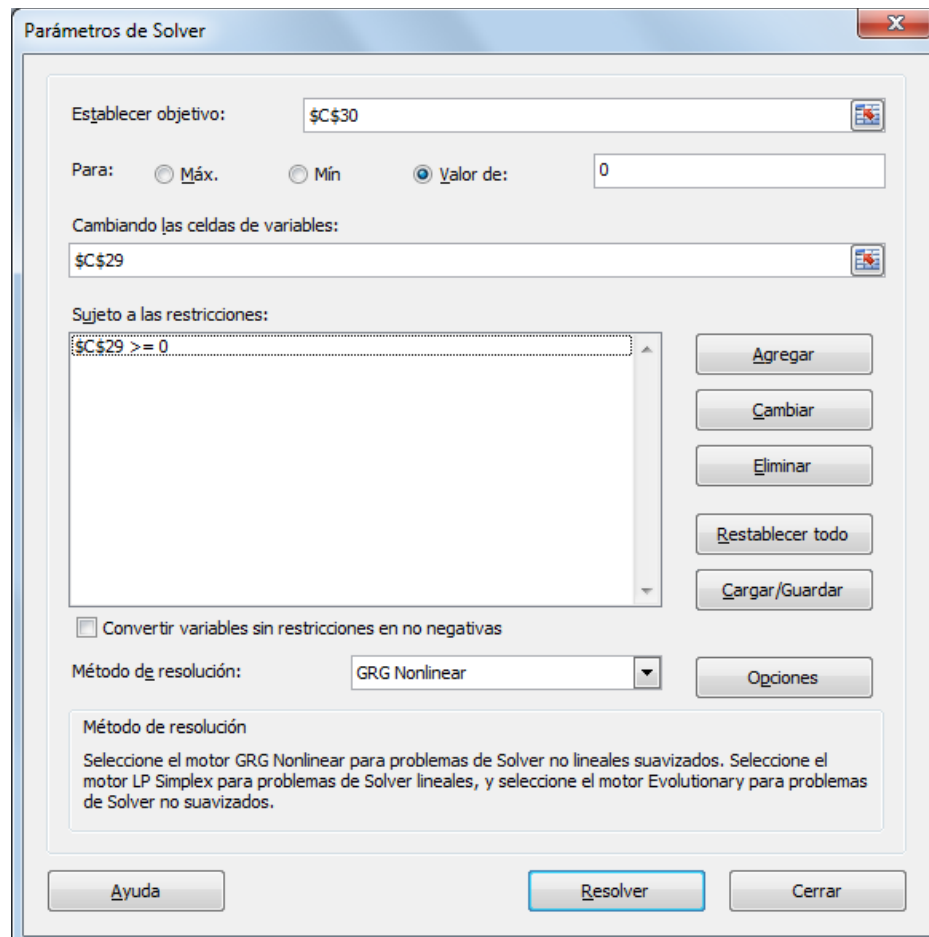
Fuente: El autor

El objetivo es utilizar la herramienta Solver para hallar el valor de h (altura del canal) con el cual se satisface la ecuación $Q - \frac{1}{n} * A * R^{2/3} * S^{0,5} = 0$. Dicha altura es aquella con la cual la sección transversal del canal cumple con el caudal exigido.



Al abrir la herramienta Solver en Excel aparecerá la ventana Parámetros de Solver, la cual debe configurarse para que quede como se muestra en la **figura 74**.

Figura 74. Diseño de canal – Parámetros de Solver



Fuente: El autor

Los pasos para configurar la ventana de Parámetros de Solver con el fin de calcular “h” son:

1. **Establecer Celda objetivo:** se debe seleccionar la celda “C30” que es la que corresponde a los valores de “h”.



2. **Para:** se debe seleccionar “valor” y por defecto nos aparece 0.
3. **Cambiando las celdas de variables:** se debe seleccionar la celda “C29” que es la que corresponde a los valores de la formula $Q - \frac{1}{n} * A * R^{2/3} * S^{0,5} = 0$
4. **Sujeto a las restricciones:** se debe seleccionar la celda “C29” y condicionarla a que esta a que sea mayor o igual a cero.

Por último se da clic en resolver y luego en aceptar para obtener el valor de “h” buscado.

➤ Chequeo de la velocidad

Se debe verificar si el valor de la velocidad del canal está entre el mínimo recomendado para evitar la sedimentación y el máximo para evitar el desgaste.

Figura 75. Diseño de canales – Chequeo de la velocidad

$$V = \frac{1}{n} * [R^{0,67} * S^{0,5}] \quad 12,04 \text{ [m/s]}$$

Fuente: El autor

La velocidad mínima permitida es la más baja velocidad que no iniciara sedimentación y no inducirá el crecimiento de plantas acuáticas y musgo. Esta velocidad es muy incierta y su valor exacto no puede ser fácilmente determinado. Sin embargo se recomienda una velocidad mínima superior a 1.3 m/s. Se recomienda que la velocidad no sea superior a 4 m/seg para evitar desgaste del recubrimiento de concreto y problemas de erosión.



En caso tal de que el diseño no cumpla con las velocidades permitidas o la sección del canal no sea muy conveniente se deben hacer todos los ajustes que permitan obtener un mejor diseño.

➤ Borde libre del canal

El borde libre del canal en función del caudal se obtiene de la tabla 2 “Borde libre en función del caudal” ubicada en la página 3 de la hoja de cálculo.

7.3.3 Detalles del la hoja de cálculo

➤ Cálculo del tiempo de concentración del área a drenar

El tiempo de concentración del área de drenaje se calcula mediante la fórmula de Bransby-Williams:

$$tc = 0.14464 * \left[\frac{L}{H^{0.2} * A^{0.1}} \right]$$

➤ Caudal de diseño

El caudal de diseño se calcula aplicando el método racional debido a que esta método es muy precisó para áreas pequeñas y debido también a que el caudal obtenido tiene un factor de seguridad mayor al calculado por otros métodos.

$$Q = C * I * A$$



➤ Diseño del canal

El diseño del canal se basa en la ecuación de Manning para flujo uniforme en canales abiertos. Dicha ecuación generalmente se expresa de la siguiente forma:

$$v = \frac{1}{n} * R^{2/3} * S^{0,5}$$

Si multiplicamos en ambos miembros por A (área del canal) obtenemos la siguiente expresión:

$$Q = \frac{1}{n} * A * R^{2/3} * S^{0,5}$$

Donde:

$$A: \text{Área para un canal trapezoidal} = (B + z * h) * h$$

$$R: \text{Radi hidraulico de un canal trapezoidal} = \frac{\text{Área}}{\text{Perímetro}} = \frac{(B + z * h) * h}{B + 2 * h * \sqrt{1 + z^2}}$$

Con esta expresión es que se trabaja para el cálculo de “h” (altura del canal), toda vez que el valor de h que satisface esta ecuación, es aquel con el cual la sección transversal del canal cumple con el caudal exigido.

Se puede observar que en la expresión todos los valores son conocidos (Q es calculado en el numeral 3 de la hoja de cálculo, n es obtenido de la tabla 3 y, B y z se estimaron en el numeral 4) excepto h.

Para el cálculo de h recurrimos al complemento Solver debido a que no se puede despejar esta variable de la ecuación, sin embargo su cálculo también se puede realizar iterando manualmente.



CONCLUSIONES

La implementación de ciencias como la física, la hidrología, la hidráulica y la mecánica de suelos en el dimensionamiento de obras geotécnicas con el fin de mantener la integridad de los gasoductos, genera mayor precisión en los diseños lo cual que permite una reducción de costos en mantenimiento geotécnico, toda vez que no se van a obtener diseños sobredimensionados como suele pasar cuando se trabaja empíricamente.

Los muros en gaviones son la obra de contención de deslizamientos más implementada en la geotecnia aplicada a la protección de gasoductos por su eficacia y economía. La hoja de cálculo elaborada en la presente tesis de grado para diseñar muros de contención en gaviones permitirá a los profesionales encargados de la geotecnia diseñar esta obra tan utilizada, aplicando la norma sismo resistente colombiana y teniendo en cuenta las propiedades del terreno y las condiciones de sismicidad de la zona.

Por otro lado, los canales para drenaje superficial podrán diseñarse a través de la hoja de cálculo "Diseño canales para escorrentía superficial" rápidamente teniendo en cuenta tanto las propiedades hidrológicas y topográficas de la zona como el tiempo de retorno o duración para el cual se van a proyectar las obras.

Para pasos elevados de tubería no existe en Colombia una norma específica que reglamente el diseño de este tipo de estructuras, sin embargo se programo la hoja de cálculo llamada "Diseño de pasos elevados de gasoducto" que permite diseñar estas estructuras de una manera rápida y confiable teniendo en cuenta recomendaciones de expertos en el tema, de fabricantes de los cables de acero que son el principal elemento estructural de los pasos elevados y, aplicando la norma sismo resistente colombiana en algunos ítems.



Cabe resaltar que las hojas de cálculo elaboradas en esta tesis de grado (utilizando Excel) para diseñar muros en gaviones, canales de drenaje superficial y pasos elevados de tubería aplican para cientos de casos y no solo para casos particulares pues se programaron para que con ellas se permitiera el diseño de la mayor cantidad de casos posibles.



BIBLIOGRAFÍA

APARICIO MIJARES. Francisco Javier. Fundamentos de hidrología de superficie. México D.F.: Limusa, 1989.

KNOWLTON, Archer. Manual “standard” del ingeniero electricista. Barcelona: Labor, 1987.

INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS (Colombia). Manual de estabilidad de taludes. Santafé de Bogotá D.C.: Escuela colombiana de ingeniería, 1998.

COLOMBIA. MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL. Reglamento colombiano de construcción sismo resistente. NSR – 10, Bogotá D.C.: El ministerio, 2010.

SUÁREZ. Jaime. Deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas tropicales. Bucaramanga: UIS, 1998.