

**UNIVERSIDAD DE ORIENTE
NÚCLEO ANZOÁTEGUI
ESCUELA DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS
DEPARTAMENTO DE MECÁNICA**



**EVALUACIÓN DEL DISEÑO MECÁNICO DEL GASODUCTO DEL
SISTEMA NOR-ORIENTAL DE GAS EN LOS CRUCES DE FALLAS
GEOLÓGICAS**

**REALIZADO POR:
CÉSAR AUGUSTO MORENO GÓMEZ**

TRABAJO DE GRADO PRESENTADO ANTE LA UNIVERSIDAD DE ORIENTE COMO
REQUISITO PARCIAL PARA OPTAR POR EL TÍTULO DE:

INGENIERO MECÁNICO

PUERTO LA CRUZ, ABRIL DE 2009

**UNIVERSIDAD DE ORIENTE
NÚCLEO ANZOÁTEGUI
ESCUELA DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS
DEPARTAMENTO DE MECÁNICA**



**EVALUACIÓN DEL DISEÑO MECÁNICO DEL GASODUCTO DEL
SISTEMA NOR-ORIENTAL DE GAS EN LOS CRUCES DE FALLAS
GEOLÓGICAS**

ASESORES

PROF. JOSÉ EDUARDO RENGEL

ASESOR ACADÉMICO

ING. GUSTAVO VALENZUELA

ASESOR INDUSTRIAL

PUERTO LA CRUZ, ABRIL DE 2009

UNIVERSIDAD DE ORIENTE
NÚCLEO ANZOÁTEGUI
ESCUELA DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS
DEPARTAMENTO DE MECÁNICA



**EVALUACIÓN DEL DISEÑO MECÁNICO DEL GASODUCTO DEL
SISTEMA NOR-ORIENTAL DE GAS EN LOS CRUCES DE FALLAS
GEOLÓGICAS**

JURADO

EL JURADO HACE CONSTAR QUE ASIGNÓ A ESTA TESIS LA CLASIFICACIÓN DE:

EXCELENTE

PROF. JOSÉ EDUARDO RENGEL

ASESOR ACADÉMICO

PROF. CARLOS GOMES

JURADO PRINCIPAL

PROF. FÉLIX PAYARES

JURADO PRINCIPAL

PUERTO LA CRUZ, ABRIL DE 2009

RESOLUCIÓN

De acuerdo al Artículo 44 del reglamento de Trabajo de Grado:

“Los Trabajos de Grado son de exclusiva propiedad de la Universidad de Oriente y sólo podrán ser utilizados a otros fines, con el consentimiento del Consejo de Núcleo respectivo, quien lo participará al Consejo Universitario”

DEDICATORIA

Este logro es dedicado a mis padres Carolina y Segundo por su amor, confianza, apoyo y consejos invaluable para mi crecimiento personal, gracias a ellos puedo continuar evolucionando; a mi hermana Pamela por amarme incondicionalmente como sólo ella lo hace; a mi abuela Julieta por alegrar cada uno de mis días con sus ocurrencias y por cuidar de mi bienestar; a mi familia por darme el impulso y la motivación necesaria para el cumplimiento de cada una de mis metas. Se lo dedico a todas aquellas personas que forman parte fundamental en mi vida. Por su ánimo, apoyo y amor incondicional. ¡Este trabajo va para ustedes!

Sinceramente

César Augusto Moreno Gómez

AGRADECIMIENTOS

Primeramente a DIOS por ofrecerme la fortaleza para seguir adelante, por brindarme el don del razonamiento y por permitirme cumplir una meta tan importante para mí.

A mis padres Carolina y Segundo por estar a mi lado en cada paso, por ser mi modelo a seguir, por su empeño, dedicación e inteligencia. Eternamente agradecido por la vida que me han brindado. Los admiro como a nadie más.

A mi hermana Pamela que con sus locuras consigue que mis días sean más felices. Espero que este logro lo tome como ejemplo para su futuro.

A mi abuela Julieta por ser tan auténtica y real, por cuidar de mí todos los días durante la realización de este proyecto. A mi abuela Ana por quererme a su manera. A Guarauno por simplemente ser mi abuelo.

A mis tíos: César, Judith, Ángela, Mariela, Eliezer, Arnaldo, Marisol, Jorge, Carlos, Julissa, Ana, Orlando, Julián, Freddy y Onasis por apoyarme, amarme y motivarme en todo momento. Por el aprendizaje que obtengo de cada uno.

A mis primos: Anadel, José Manuel, Víctor, Gustavo, Gabriela, Sael, Ana cristina, Kamila, Samuel, Patricia y William. Su compañía siempre me llena de alegría.

A Marylin, Leo, Emma, José, Miguel y Anaredis por sus consejos siempre acertados y por compartir conmigo el impulso a la realización de este logro.

A mis amigos, compañeros de clase, de estudio y del alma: Adriana, Alex, Argenis, Alondra, Andreina, Chucho, David, Edrey, Edwin, Freddy, Gisela, Gabriela, Génesis, Israel, Jaime, Joauris, José Antonio, Juan, Krizia, Mago, María, Manuel, Marycarmen, Maybeth, Néstor, Ordeilys, Oscarina, Rafael, Robert y Raúl por compartir las buenas y las no tan buenas conmigo. Sin importar el tiempo que tenga conociéndolos, cada uno deja su estela. Gracias por compartir conmigo los mejores momentos. Discúlpenme si olvido a alguno en este escrito, todos son importantes para mi.

A mis asesores por su dedicación, apoyo y colaboración en cada paso de este trabajo. Al profesor José Eduardo Rengel por compartir su conocimiento durante mi carrera y la realización de esta tesis. Al profesor Carlos Gomes por formar parte fundamental del desarrollo del trabajo. A Richard Ay por sus orientaciones y aclaratorias.

A la casa más alta por brindarme la oportunidad de formarme como profesional y proporcionarme las herramientas que me permitan ejercer la mejor carrera del mundo.

A todo el personal del proyecto SINORGAS por brindarme la oportunidad de desarrollar mi tesis de grado junto a ellos y por hacer de mi estadía en la empresa una excelente experiencia.

Gracias a todos por creer en mí, por existir y formar parte de mi vida. Sinceramente sin su compañía el camino hubiese sido menos satisfactorio. Son únicos y simplemente los mejores. ¡DIOS los bendiga!

Las palabras no expresarían mi sentimiento de gratitud

César Augusto Moreno Gómez

RESUMEN

En el siguiente trabajo de investigación se evaluó el diseño mecánico del gasoducto del sistema Nor-Oriental de gas en los cruces de fallas geológicas, ya que el corredor de éste se asienta en una zona de alta peligrosidad sísmica. Se emplearon dos metodologías para la determinación del grado de integridad mecánica del gasoducto sometido a cargas sísmicas. Inicialmente, se utilizó una guía de diseño recomendada para estimar los efectos de las cargas generadas sobre el gasoducto ante un evento sísmico donde la tubería cruza la falla, como consecuencia de la deformación permanente del suelo, flotabilidad de la tubería debida a licuefacción del suelo, deformación abrupta del suelo por cruces de fallas y propagación de onda sísmica. Seguidamente, se usó la técnica de análisis por elementos finitos usando el software CAESAR II v4.40, para determinar el grado de exactitud al emplear la guía de diseño y establecer comparaciones entre los esfuerzos calculados por ambas metodologías. Se realizó un análisis de sensibilidad para determinar la longitud efectiva del gasoducto sometido a la acción de las cargas de esta índole. Se compararon los esfuerzos y deformaciones resultantes para los espesores de 14.27mm (0.562 in) y 17.47mm (0.688 in) estándar de tuberías API 5L X65 de 0.9144m (36 in) de diámetro para determinar la factibilidad de su utilización en estas zonas, para garantizar la resistencia mecánica, la operatividad y seguridad del sistema de transporte. Ambas metodologías arrojaron valores de esfuerzos resultantes menores a los límites admisibles establecidos en las norma ASME B31.8 de *Sistemas de transporte y distribución de Gas* para las condiciones de carga al evaluar ambos espesores, lo que se traduce en una excelente integridad estructural del gasoducto. Se recomienda que sólo se utilice el espesor de 17.47mm (0.688 in) en el cruce de falla El Pilar (CFGS-1) ya que presentó elevados índices de esfuerzo. Además, se determinó que la metodología empleada es adecuada cuando se requiera un estudio preliminar de los efectos de la amenaza sísmica.

CONTENIDO

RESOLUCIÓN	iv
DEDICATORIA	v
AGRADECIMIENTOS	vi
RESUMEN	viii
CONTENIDO	ix
LISTA DE TABLAS	xiii
LISTA DE FIGURAS	xv
GLOSARIO	xvii
CAPÍTULO I	20
INTRODUCCIÓN	20
1.1 PDVSA GAS S.A.	20
1.2 Planteamiento del problema	21
1.3 Justificación	24
1.4 Antecedentes	26
1.5 Enfoque del problema	27
1.5.1 Objetivo General	28
1.5.2 Objetivos Específicos	28
1.6 Resumen de resultados	29
1.7 Contenido del trabajo	30
CAPÍTULO II	33
MARCO TEÓRICO	33
2.1 Normas y criterios usados para el diseño de gasoductos.....	34
2.1.1 Clases de localidad para diseño y construcción según ASME B31.8	34
2.1.2 Requerimientos de diseño de un sistema de tuberías de acero	36
2.1.3 Factores de diseño	37
2.1.4 Selección de materiales	38

2.2	Análisis de esfuerzos	39
2.2.1	Esfuerzos primarios	40
2.2.2	Esfuerzos secundarios.....	41
2.2.3	Esfuerzos ocasionales	41
2.3	Suelos	42
2.3.1	Características de los suelos	43
2.4	Marco Tectónico.....	43
2.4.1	Desplazamientos sísmicos permanentes	45
2.4.2	Licuefacción	47
2.4.3	Falla	48
2.4.4	Propagación de ondas sísmicas.....	49
2.5	Método de elementos finitos	52
2.5.1	Modelo de elementos finitos para tuberías enterradas.....	52
2.5.2	Modelado de tuberías continuas	53
2.6	Análisis de sensibilidad	54
2.7	Análisis dinámico	55
2.7.1	Análisis dinámico de estructuras	55
2.7.2	Análisis dinámico en elementos finitos	56
2.7.3	Espectro de frecuencias	57
2.7.4	Análisis espectral	57
2.7.5	Teorema de muestreo de Nyquist-Shannon.....	58
2.8	Programa de Simulación	59
	CAPÍTULO III	61
	ANALISIS DE LA INTEGRIDAD MECANICA APLICANDO METODOLOGÍA RECOMENDADA	61
3.1	Introducción.....	61
3.2	Esfuerzos y deformaciones iniciales en la tubería.....	65
3.2.1	Deformación total de operación.....	65
3.2.2	Esfuerzo circunferencial debido a la presión interna.....	65

3.2.3 Deformación longitudinal debido a la presión interna	66
3.2.4 Esfuerzo longitudinal debido a cambios de temperatura	66
3.2.5 Deformación longitudinal debido a cambios de temperatura	67
3.3 Clasificación de los peligros sísmicos	67
3.4 Criterios de diseño para deformación permanente del suelo	67
3.4.1 Factor de diseño para peligro sísmico	70
3.4.2 Clasificación de los gasoductos	71
3.4.3 Fuerzas de resistencia máximas transmitidas del suelo a la tubería ..	72
3.5 Criterios de diseño para flotabilidad debida a licuefacción	77
3.6 Criterios de diseño para deformación abrupta del suelo (cruce de fallas).....	78
3.6.1 Desplazamiento para fallas laterales	79
3.6.2 Desplazamiento para fallas normales e inversas	79
3.7 Criterios de diseño para propagación de onda sísmica	81
3.7.1 Velocidad máxima de diseño del suelo	81
3.7.2 Aceleración máxima del suelo	82
3.7.3 Aceleración pico del terreno	82
3.7.4 Factor de amplificación del suelo	83
3.7.5 Clasificación del suelo	84
3.8 Límites permisibles	84
CAPÍTULO IV	86
ANÁLISIS DE LA INTEGRIDAD MECÁNICA APLICANDO ANÁLISIS	
POR ELEMENTOS FINITOS	86
4.1 Introducción	86
4.2 Capacidades dinámicas en el CAESAR II	88
4.3 Pasos importantes en el análisis dinámico	89
4.4 Espectros de respuesta en el CAESAR II	90
4.5 Esfuerzos según código ASME B31.8	91
4.5.1 Esfuerzos longitudinales resultantes	91
4.5.2 Esfuerzos combinados	91

4.5.3 Esfuerzo tangencial.....	92
4.5.4 Esfuerzo nominal debido a presión interna	92
4.5.5 Esfuerzo longitudinal debido a expansión térmica.....	93
4.5.6 Esfuerzo de doblaje nominal de la tubería.....	93
4.5.7 Esfuerzo debido a cargas axiales	93
CAPÍTULO V.....	94
RESULTADOS	94
5.1 Discusión de resultados	94
5.1.1 Esfuerzos resultantes aplicando la metodología recomendada.....	94
5.1.2 Deformaciones resultantes aplicando la metodología recomendada	97
5.1.3 Simulaciones en CAESAR II aplicando análisis por elementos finitos	
.....	103
CAPÍTULO VI	109
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	109
6.1 Conclusiones	109
6.2 Recomendaciones.....	110
BIBLIOGRAFÍA CITADA.....	112
APÉNDICE	115
METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO:	173

LISTA DE TABLAS

Tabla 2.1 Factor de diseño F	37
Tabla 2.2 Factor de ajuste por temperatura T	37
Tabla 2.3 Factor de junta longitudinal E	38
Tabla 2.4 Esfuerzo de fluencia admisible por grado de tubería	39
Tabla 3.1 Parámetros de Ramberg-Osgood para tuberías enterradas según el acero	64
Tabla 3.2 Factor de importancia (I_p) para diferentes clases de tuberías	71
Tabla 3.3 Factor de fricción para varios materiales de recubrimiento de tuberías	73
Tabla 3.4 Valores de coeficiente de presión para diferentes condiciones de suelo	73
Tabla 3.5 Coeficientes de capacidad de comportamiento horizontal	75
Tabla 3.6 Relación entre velocidad pico del terreno y aceleración pico del terreno	82
Tabla 3.7 Factor de amplificación del suelo (I_g) para aceleración pico del terreno	83
Tabla 3.8 Clasificación del suelo en la zona	84
Tabla 3.9 Límites permisibles de deformación para cargas sísmicas	85
Tabla 5.1 Esfuerzos resultantes del análisis sísmico en el gasoducto SINORGAS	95
Tabla 5.2 Deformaciones por desplazamientos permanentes del suelo resultantes del análisis sísmico en el gasoducto SINORGAS	97
Tabla 5.3 Deformaciones por flotabilidad debida a licuefacción del suelo resultantes del análisis sísmico en el gasoducto SINORGAS	100
Tabla 5.4 Deformaciones por cruce de fallas resultantes del análisis sísmico en el gasoducto SINORGAS	101

Tabla 5.5 Deformaciones por propagación de onda sísmica resultantes del análisis sísmico en el gasoducto SINORGAS	102
Tabla 5.6 Esfuerzos resultantes del análisis estático por deformación permanente del suelo en el gasoducto SINORGAS	103
Tabla 5.7 Esfuerzos resultantes del análisis dinámico en el gasoducto SINORGAS	105
Tabla C1 Características de cruces de fallas reconocidos	140
Tabla C2 Desplazamientos cosísmicos críticos en los cruces de fallas	141
Tabla C3 Aceleraciones espectrales (g) en los cruces de fallas	142

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1 Ruta del gasoducto del Sistema Nor-Oriental de Gas (SINORGAS)	32
Figura 2.1 Representación gráfica de los esfuerzos en un punto de un cuerpo	40
Figura 2.2 Representación del esfuerzo circunferencial (S_t) y del esfuerzo longitudinal (S_l)	41
Figura 2.3 Mapa neotectónico del oriente venezolano	45
Figura 2.4 Mapa esquema de interacción Placa Suramericana y Placa del Caribe	45
Figura 2.5 Desplazamientos permanentes del terreno y solicitaciones en el tubo, para casos extremos en su dirección: a) paralela a la deformación; b) normal a la deformación	46
Figura 2.6 Caso general de desplazamientos permanentes del terreno y solicitaciones en la tubería	47
Figura 2.7 Tipos de fallas: a) Falla normal; b) Falla inversa; c) Falla lateral	49
Figura 2.8 Ondas de volumen: a) Ondas P; b) Ondas S	50
Figura 2.9 Ondas de superficie: a) Ondas Love; b) Ondas Rayleigh	51
Figura 2.10 Interacciones tridimensionales actuales entre el suelo y la tubería	54
Figura 2.11 Modelo de interacción 3D entre el suelo y la tubería para análisis pseudo-estático de tuberías continuas	54
Figura 3.1 Procedimiento utilizado para el desarrollo de la metodología	62
Figura 3.2 Representación idealizada de la fuerza axial	74
Figura 3.3 Representación idealizada de la fuerza lateral	75
Figura 3.4 Representación de la fuerza de alzamiento y soporte	77
Figura E1 Vistas del modelo tridimensional para el cruce de fallas de El Pilar	168
Figura E2 Modelo tridimensional para el cruce de fallas de El Pilar	169
Figura E3 Vista frontal del modelo tridimensional para el cruce de fallas de El Pilar	170

Figura E4 Vista superior del modelo tridimensional para el cruce de fallas de El Pilar 171

Figura E5 Vista lateral del modelo tridimensional para el cruce de fallas de El Pilar 172

GLOSARIO

TÉRMINO	DEFINICIÓN
Aceleración pico del suelo	Es la máxima aceleración de una onda sísmica en la superficie del suelo, esperada debido a un evento sísmico. Esto se refiere al movimiento horizontal a menos que se especifique de otra manera.
Cohesión del suelo	Es la cualidad por la cual las partículas del terreno se mantienen unidas en virtud de fuerzas internas, que dependen, entre otras cosas del número de puntos de contacto que cada partícula tiene con sus vecinas.
Deformación permanente del suelo	Es la deformación del suelo no recuperable debido a la licuefacción de este, deslizamiento o fallas geológicas.
Discretización	Es el conjunto de elementos finitos que forman una partición del medio continuo.
Elementos finitos	Son una serie de subdominios no intersectantes entre si en los que se divide el cuerpo, estructura o dominio.
Falla geológica	Es una grieta en la corteza terrestre. Estas están asociadas con, o forman, los límites entre las placas tectónicas de la tierra.
Gasoducto	Es un conjunto de tuberías dispuestas de manera continua que sirven para transportar gases combustibles a gran escala.
Licuefacción	Es un fenómeno donde el suelo saturado pierde una proporción substancial de su resistencia y actúa como un fluido viscoso durante una acción sísmica.

TÉRMINO	DEFINICIÓN
Malla	Es el conjunto de nodos, considerando sus relaciones de adyacencia.
Movimiento de falla	Es el movimiento diferencial abrupto del suelo en cada lado de la falla.
Nodos	Son los puntos representativos que distinguen a un elemento. Estos son adyacentes si pertenecen al mismo elemento finito.
Ondas Love	Son ondas sísmicas superficiales que causan el movimiento horizontal del suelo de lado a lado en un plano horizontal perpendicular a la dirección de la propagación.
Ondas P	Son las ondas sísmicas más rápidas y transmiten energía a través de la tierra como ondas longitudinales, cambiando de lugar partículas en la misma línea de la dirección de la onda. Estas pueden desplazarse a través de todas las capas de la tierra.
Ondas Rayleigh	Son ondas sísmicas superficiales que causan que las partículas del suelo oscilen en una trayectoria elíptica en un plano vertical a lo largo de la dirección de la onda.
Ondas S	Son ondas sísmicas las cuales causan que las partículas oscilen perpendiculares a la dirección de la transmisión de energía. Estas no pueden viajar a través de fluidos.
Peso específico del suelo	Se define como el peso del suelo por unidad de volumen. Es una propiedad física de la materia, aplicable en general a cualquier sustancia.

TÉRMINO	DEFINICIÓN
Propagación lateral	Es un fenómeno, el cual ocurre cuando un suelo blando arenoso saturado es licuado debido a una vibración sísmica. La licuefacción causa que el suelo pierda resistencia, lo que resulta en el flujo o movimiento lateral del suelo licuado.
Schedule (Sch)	Es el código que indica el espesor de una tubería según el diámetro de la misma.
Tubería continua	Son tuberías que poseen juntas de mayor rigidez y resistencia en comparación con la tubería segmentada. Una tubería de acero con junta soldada es tratada como una tubería continua.
Velocidad pico del suelo	Es la máxima velocidad de una onda sísmica en la superficie del suelo, esperado debido a un evento sísmico. Esto se refiere al movimiento horizontal a menos que se especifique de otra manera.

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1 PDVSA GAS S.A.

Petróleos de Venezuela S.A., es una corporación energética propiedad del Estado Venezolano con actividades operacionales y comerciales dentro y fuera del país. Dichas actividades abarcan la exploración, explotación, refinación, transporte y distribución de hidrocarburos, así como también promueve los negocios de Orimulsion®, química, petroquímica y carbón.

Desde su creación en 1978, Petróleos de Venezuela S.A. se ha convertido en una de las corporaciones energéticas más importantes del mundo, ya que cuenta con las mayores reservas de hidrocarburos en el continente americano. Ocupa una destacada posición entre los refinadores mundiales y su red de manufactura y mercadeo abarca al continente americano y Europa. Además, realiza actividades en el área petroquímica, investigación y desarrollo tecnológico, educación y adiestramiento en sectores vinculados con la industria energética.

PDVSA ha asumido oportunamente el reto de mantenerse competitiva y rentable frente a los nuevos tiempos. Para ello, ha puesto en marcha la transformación de su estructura corporativa, con el propósito fundamental de consolidar la empresa. En este sentido a finales de 1997 se creó PDVSA Petróleo y Gas, la cual está constituida por tres grandes divisiones y a su vez está integrada por diversas empresas y unidades de negocios ubicados tanto en Venezuela como en otros países.

Esta organización está constituida por PDVSA Refinación y Comercio, DELTAVEN, PDV Marina, INTEVEP y PDVSA GAS. La división de manufactura y mercadeo está a cargo de las actividades de refinación de crudo, así como la

manufactura de productos, comercialización y suministro para el mercado nacional e internacional. Además, se encarga de comercializar el gas natural y cumple funciones de transporte marítimo.

PDVSA GAS S.A. es una filial de Petróleos de Venezuela S.A., la cual cuenta con el distrito Gas anaco como principal centro de explotación, producción y distribución de gas natural en Venezuela, teniendo 40% de las reservas nacionales probadas. Actualmente, los más grandes reservorios de gas del mundo y los mayores en todo el país se encuentran en esta región, produciendo de manera sustentable para abastecer a sus principales clientes del mercado interno.

Con base a ello, en años recientes PDVSA GAS S.A. ha venido consolidando proyectos que ofrecen la oportunidad de aumentar la producción venezolana de hidrocarburos, con énfasis en fluidos gaseoso. Los proyectos con avances significativos desde el punto de vista de la certificación de reservas de ejecución son: Mariscal Sucre (MS), Plataforma Deltana (PD), Golfo de Paria Oeste Gas (GPO), Rafael Urdaneta (RU) y el Sistema Nor-Oriental de Gas (SINORGAS).

1.2 Planteamiento del problema

PDVSA GAS se dedica a la exploración y explotación de gas, así como a la extracción y fraccionamiento de Líquidos del Gas Natural (LGN), al transporte, distribución y comercialización del Metano. Esta empresa se encuentra constituida por el Distrito de producción Anaco, los procesos de Extracción y Fraccionamiento LGN Oriente y los procesos de Producción de Gas Libre (Bloque E Sur del Lago), Extracción, Fraccionamiento y LGN de Occidente y de las operaciones de transporte y distribución de gas de Occidente. Actualmente posee una capacidad de producción en el eje Anaco-Barquisimeto, en promedio de 1525 a 2137 millardos de pies cúbicos por día. Además, una capacidad de producción Anaco-Puerto Ordaz de 980 MMPCD. Asimismo, el gasoducto del Sistema Nor-Oriental de Gas (SINORGAS) con una

capacidad de producción proyectada de 133 MMPCD, en su fase inicial, para posteriormente aumentar su capacidad de producción a 1000MMPCD, en su segunda etapa.

El gasoducto del SINORGAS transportará gas proveniente de Anaco-Jose hacia: la planta de energía eléctrica “General José Antonio Anzoátegui”; la refinería de Puerto la Cruz, Proyecto VALCOR; la ciudad de Cumaná; la planta eléctrica “Luisa Cáceres de Arismendi” en la isla de Margarita y será usado para el consumo doméstico e industrial. En una segunda fase, este gasoducto recibirá gas extraído costa afuera, mediante el gasoducto Guiria-San Antonio. Este sistema suministrará una energía ecológicamente más limpia, eficiente y económica en comparación con las fuentes de energía actuales. Además, este sistema suplirá del gas combustible para la generación de energía eléctrica y promoverá el desarrollo industrial y comercial de la región.

El nororiente de Venezuela es una zona de elevada amenaza sísmica, donde frecuentemente ocurren terremotos que pueden afectar a la población y las estructuras. Los estados Anzoátegui, Sucre y Nueva Esparta, donde se asientan los corredores de los gasoductos de PDVSA GAS, están dentro de las zonas de mayor amenaza sísmica del país. Esto ocurre debido a que la zona está inserta en la frontera de las placas tectónicas del Caribe y Suramericana.

La zona donde se asienta el corredor del Sistema Nor-Oriental de Gas (SINORGAS), presenta las evidencias de deformaciones tectónicas cuaternarias más importantes. Esta franja se caracteriza por la existencia de una zona de deformación tectónica de unos 150 km. de ancho en sentido norte-sur, siendo sus límites las fallas de El Yaque en el norte y al sur el Corrimiento de Pirital. El movimiento predominante de las fallas es de tipo lateral, a veces con una componente vertical importante. En ambos lados de la zona de deformación principal se localizan

importantes fallas, que no inciden en el comportamiento del sistema de fallas de Urica, San Francisco, Río Grande Sur, y las fallas de Margarita, Caracolito, Tres Puntas y Patao Norte. Sin embargo, la falla El Pilar constituye el accidente de mayor importancia entre las placas Caribe y Suramérica. La interacción que presentan las fallas ubicadas en esta región generarían desplazamientos transmitidos al gasoducto como consecuencia del movimiento del suelo, lo que se traduce en deformaciones, fallas o rupturas, por esta razón se requiere evaluar los efectos relacionados a este tipo de eventos.

PDVSA GAS requiere determinar el grado de integridad estructural del gasoducto del Sistema Nor-Oriental de Gas, mediante la evaluación de los parámetros de esfuerzo y deformación generados por las cargas sísmicas características de la región, para los espesores $t_1=17.47$ mm (0.688 in) y $t_2=14.27$ mm (0.562 in) nominales de tubería de 0.9144 m (36 in) de diámetro. En el diseño inicial del gasoducto, se tomó la precaución de utilizar el mayor espesor nominal de la pared de la tubería para disminuir el riesgo de falla donde éste presente mayor grado de exigencia. Sin embargo, ambos espesores deben ser evaluados para determinar técnicamente la opción más favorable.

El diseño mecánico de un gasoducto depende principalmente de las condiciones operacionales tales como presión, diferencia de temperatura, cargas externas, etc. Un diseño efectivo es de suma importancia ya que garantiza la inversión realizada, la confiabilidad, resistencia estructural, seguridad y continuidad de operación. Uno de los casos particulares es cuando el gasoducto se asienta sobre una zona de elevada actividad sísmica. En estos casos es necesario tomar en cuenta criterios y consideraciones que cumplan con los requerimientos de diseño de gasoductos. Para ello es necesario estimar los efectos de un evento sísmico usando correlaciones analíticas aplicadas para verificar el estado estructural del gasoducto. También es recomendable la utilización de análisis más detallados como el de elementos finitos

ya que éste permite obtener resultados apropiados para establecer comparaciones que validen los resultados bajo los requerimientos de las normas y códigos nacionales e internacionales.

1.3 Justificación

La actual estrategia energética nacional está orientada a maximizar la utilización del gas metano como combustible, por tal razón, es preciso aumentar el suministro de este tipo de gas para atender a la mayor cantidad posible de regiones de Venezuela, ofreciendo un producto eficiente, ecológico y más económico a los consumidores, con el propósito de masificar su uso, liberar más líquidos para la exportación y favorecer el desarrollo nacional.

Ante este escenario, PDVSA GAS, S.A ha decidido extender su Sistema de Transporte Anaco – Jose / Pto La Cruz, hasta la Isla de Margarita para atender los crecientes requerimientos de generación eléctrica, refinación de crudo y de los nuevos sistemas de distribución de gas que atenderán la incorporación de usuarios industriales, comerciales y domésticos de toda la región nordeste del país a través del servicio de suministro de gas metano. Adicionalmente, la extensión de este sistema permitirá la interconexión del Sistema de Transporte de Gas de PDVSA GAS, S.A. con las nuevas fuentes de gas que actualmente se desarrollan al norte de Paria y en la Plataforma Deltana, mediante la construcción del tramo de gasoducto Guiria – San Antonio del Golfo. Tal interconexión incorporará de esta manera grandes volúmenes adicionales de gas para el consumo del mercado interno en el nordeste del país, liberando parte sustancial de la producción de gas en el área Anaco y San Tomé. En la figura 1.1 se muestra la ruta para la construcción de este sistema de tuberías. El gasoducto del Sistema Nor-Oriental de gas, es considerado estratégico y de importancia relevante para la región nordeste costera del país, por las siguientes razones:

- Garantizará el suministro de un combustible limpio y económico para satisfacer la creciente demanda del sector eléctrico en la región, y en consecuencia permitirá la liberación de combustibles líquidos para su exportación. Se prevé capacidad de transporte y entrega de gas para:
 - ◆ Planta termoeléctrica “Luisa Cáceres de Arismendi”, propiedad de SENECA y ubicada en la Isla de Margarita, Estado Nueva Esparta, la cual cuenta actualmente con una potencia total instalada de 210 MW.
 - ◆ Futura planta eléctrica “Alberto Lovera”, propiedad de CADAFE y ubicada dentro de los terrenos de la Refinería Puerto La Cruz, Estado Anzoátegui, la cual tendrá una capacidad de 300 MW.
 - ◆ Futura planta “Antonio José de Sucre”, propiedad de EDELCA y ubicada en la cercanía de la ciudad de Cumaná, Estado Sucre, que tendrá una capacidad inicial de 500 MW, y se incrementará hasta 1.000 MW posteriormente.
- Asegurará la disponibilidad de capacidad de transporte de gas para la ampliación de la Refinería Puerto La Cruz de PDVSA.
- Complementará los requerimientos de capacidad de transporte y suministro de gas del Complejo Petrolero y Petroquímico José Antonio Anzoátegui ubicado en Jose, en especial por los sectores petroquímicos y de mejoramiento de crudo.
- Apalancará los proyectos de desarrollo endógeno y planes de gasificación de los pueblos y ciudades, impulsando el desarrollo industrial y mejorando la calidad de vida en las áreas de influencia.
- Consolidará la creación del Centro de Acopio de gas en Guiria (Estado Sucre) y su interconexión con la red nacional de gasoductos de PDVSA GAS S.A., disminuyendo la dependencia exclusiva de los tradicionales campos de producción en Anaco. Contribuirá de una forma determinante en la incorporación de volúmenes adicionales de gas al mercado interno.

- Debido a la interconexión del nuevo gasoducto con el sistema de transporte Anaco – Puerto La Cruz existente, aumentará la flexibilidad y confiabilidad de suministro de gas a la Refinería Puerto la Cruz, CADAFE Guanta y Cementos Pertigalete, como también a los ramales de distribución de gas metano en las ciudades de Barcelona y Puerto La Cruz del Estado Anzoátegui.

1.4 Antecedentes

La compañía Trans Alyeska realizó un diseño con criterios antisísmicos para el oleoducto Trans Alaska Pipeline System (TAPS), mediante la implementación de unos dispositivos antisísmicos que permitían el deslizamiento y flexión del tubo en caso de un evento de tales características. En noviembre del 2002, un sismo de magnitud de momento $M_w 7.9$ ocurrido en la falla de Denali, no afectó al oleoducto de manera significativa, ya que no se presentaron deformaciones relevantes, no se derramó crudo y el oleoducto pudo entrar en operación de nuevo a los pocos días del evento, lo que se traduce en un diseño efectivo. ^[1]

Leal D. en 2006, efectuó el análisis de flexibilidad de las estaciones de válvulas del sistema de tuberías del gasoducto Barbacoa-Cumana-Isla de Margarita, utilizando el software de flexibilidad CAESAR II versión 4.4. Éste le permitió determinar los esfuerzos tanto en el sistema de tuberías como en las boquillas de los equipos, los cuales fueron comparados con los esfuerzos admisibles establecidos en las normas actuales. Los esfuerzos en el sistema de tuberías de las estaciones de válvulas resultaron mayores que los indicados por la norma, por esta razón se sugirieron cambios en la disposición de los soportes que contrarrestaran el movimiento generador de las fallas. ^[2]

González I. en 2007, desarrolló una metodología de diseño mecánico para el cálculo de espesores de gasoductos en tramos submarinos, aplicada el gasoducto

Barbacoa-Isla de Margarita. Se validaron los cálculos obtenidos con el software PLUS ONE, basado en las normas internacionales aplicables como: DNV-OS-F101, ASME B31.8 y API RP 1111. Obtuvo resultados similares a los generados por el software comercial, sin embargo el espesor utilizado es de 0,5 pulg debido a que éste es el mínimo requerido por la norma DNV-OS-F101, ofreciendo un alto factor de seguridad al colapso. ^[3]

Estos trabajos de investigación serán de gran utilidad en la evaluación del diseño mecánico del gasoducto del Sistema Nor-Oriental de Gas en los cruces de fallas geológicas porque permiten conocer la metodología aplicada para un sistema de transporte bajo condiciones de carga, logrando tener una mejor visión para la ejecución del proyecto en estudio. Sin embargo, en comparación con el diseño de la compañía Trans Alyeska las condiciones de diseño varían ya que la mayoría de los tramos del oleoducto TAPS están en la superficie y el transporte es de crudo mientras que el gasoducto SINORGAS está enterrado en toda su extensión y transporta gas, lo que aumenta las exigencias sobre la tubería. Los trabajos de grado realizados para el proyecto se utilizan de referencia, no obstante, en éstos no se tomaron en cuenta las condiciones de carga sísmica a las que está sometido el gasoducto SINORGAS.

1.5 Enfoque del problema

Dada la importancia económica y social del gasoducto y el elevado riesgo asociado a un eventual daño de los mismos, se hace necesaria la evaluación del diseño mecánico de los tramos del gasoducto del SINORGAS en los cruces de fallas geológicas, lo cual se llevará a cabo mediante el estudio de los elementos y subsistemas interconectados relacionados al sistema de transporte de gas, las características del suelo y la amenaza sísmica para los cruces de fallas geológicas. Inicialmente, se estimarán los esfuerzos y deformaciones producto de las cargas a las que está sometida la tubería, usando la relación de Ramberg-Osgood para tuberías enterradas en los cruces de fallas, definida en la metodología recomendada. Luego, se

realizará un análisis por elementos finitos usando un software, a fin de determinar las consecuencias del desplazamiento como consecuencia del cruce de falla sobre el gasoducto, usando un modelo discretizado de la tubería, las propiedades del suelo presente en la zona y los efectos de la amenaza sísmica existente. Cabe destacar que el estudio se limitará a las zonas donde el gasoducto cruce una falla, es decir, se realizará un análisis de sensibilidad para determinar una longitud de estudio relativa a esta zona donde se distinga la influencia de los efectos asociados a un evento sísmico.

Asimismo, se plantearán recomendaciones que permitan el mejoramiento del sistema, en búsqueda de la disminución de las consecuencias de las demandas sísmicas, así como la posible implementación de dispositivos al sistema que contribuyan a la operación continua de éste, sin poner en riesgo la seguridad del ambiente, de las personas y de la inversión realizada, así como la continuidad operacional de las líneas de transporte. La evaluación del proceso permitirá conocer y solventar las deficiencias del mismo, además de permitir establecer condiciones de seguridad, operatividad e integridad de los equipos asociados al mismo.

1.5.1 Objetivo General

Evaluar el diseño mecánico del gasoducto del Sistema Nor-Oriental de Gas en los cruces de fallas geológicas.

1.5.2 Objetivos Específicos

1. Describir las características de los componentes asociados al sistema de transporte de gas en el gasoducto SINORGAS.
2. Definir los esfuerzos y deformaciones permisibles para cruces de fallas en el gasoducto SINORGAS.

3. Determinar los esfuerzos y deformaciones generadas por los cruces de fallas en el gasoducto SINORGAS usando la metodología recomendada.
4. Crear un modelo discretizado del gasoducto SINORGAS en los cruces de fallas usando un software de análisis por elementos finitos.
5. Simular las condiciones del gasoducto SINORGAS en los cruces de fallas usando un software de análisis por elementos finitos.
6. Evaluar los resultados obtenidos de las simulaciones realizadas, comprobando la integridad estructural del gasoducto SINORGAS en los cruces de fallas.

1.6 Resumen de resultados

En la evaluación del diseño mecánico del Sistema Nor-Oriental de Gas, los esfuerzos y deformaciones generados producto una actividad sísmica de la zona de asentamiento del corredor del gasoducto, resultaron menores que los límites admisibles establecidos en la Norma ASME B31.8 de “*Sistemas de tubería para el transporte y distribución de gas*” al aplicar la metodología recomendada en las guías de diseño sísmico y la técnica detallada de análisis por elementos finitos. Se utilizó el software de análisis de esfuerzo en tuberías CAESAR II para verificar el rango de aplicación de la metodología al compararla con ésta técnica detallada de análisis. Se compararon dos espesores estándar de tuberías de acero para establecer comparaciones en los índices de esfuerzo generados y determinar cuál de estos es más factible para su utilización.

En líneas generales, se evidencia que para el menor espesor, los esfuerzos resultantes son mayores debido a que la tubería opone más resistencia al movimiento, ya que por definición estos son producto del módulo de la fuerza aplicada sobre el elemento por unidad de área, lo que se traduce en mayor integridad estructural. Si la

carga aplicada al sistema de tuberías permanece constante debido a las características sísmicas de la zona y se reduce el espesor de pared del tubo, los esfuerzos generados se incrementan linealmente según la relación básica de esfuerzos. La tendencia entre los resultados de los esfuerzos y las deformaciones, producto de los efectos relacionados con un evento sísmico, es la misma ya que el material del gasoducto bajo la carga aplicada se encuentra en la zona elástica del diagrama esfuerzo-deformación, en donde, para los aceros sometidos a estudio se cumple la ley de proporcionalidad de Hooke.

Al comparar los resultados generados por ambas metodologías se evidencia una similitud entre las tendencias de los esfuerzos producto de la potencial actividad sísmica, lo que permite establecer que es adecuada la utilización de las correlaciones cuando no se cuente con la suficiente información sísmica o cuando se requiera una evaluación conceptual de los efectos asociados a las cargas generadas sobre un sistema de tuberías enterradas producto de un evento sísmico. Sin embargo, cuando se requiera de un análisis más específico y detallado de las consecuencias de un evento de esta índole, se hace necesaria la utilización de técnicas avanzadas como la de análisis por elementos finitos. Se nota como los índices de esfuerzos resultaron mayores para las simulaciones realizadas con el software de análisis por elementos finitos ya que éste realiza un estudio más riguroso y específico sobre cada uno de los elementos discretizados de la malla perteneciente al modelo del sistema. Al igual que en los resultados obtenidos usando la metodología para todos los cruces de fallas se cumplen con los límites de esfuerzo admisible para los espesores comparados.

1.7 Contenido del trabajo

El trabajo de investigación se encuentra estructurado en seis capítulos principales en donde se explica detalladamente las bases necesarias para su desarrollo. En el capítulo I se introduce al tema, se presenta el problema, su justificación y el enfoque desarrollado para su solución. En el capítulo II se da a

conocer el marco teórico necesario para la realización de la investigación. El capítulo III se refiere a la metodología de diseño recomendada empleada para la solución del problema. El capítulo IV se describe la técnica de análisis por elementos finitos empleada. El análisis de los resultados generados se expone en el capítulo V y las conclusiones obtenidas en el capítulo VI.

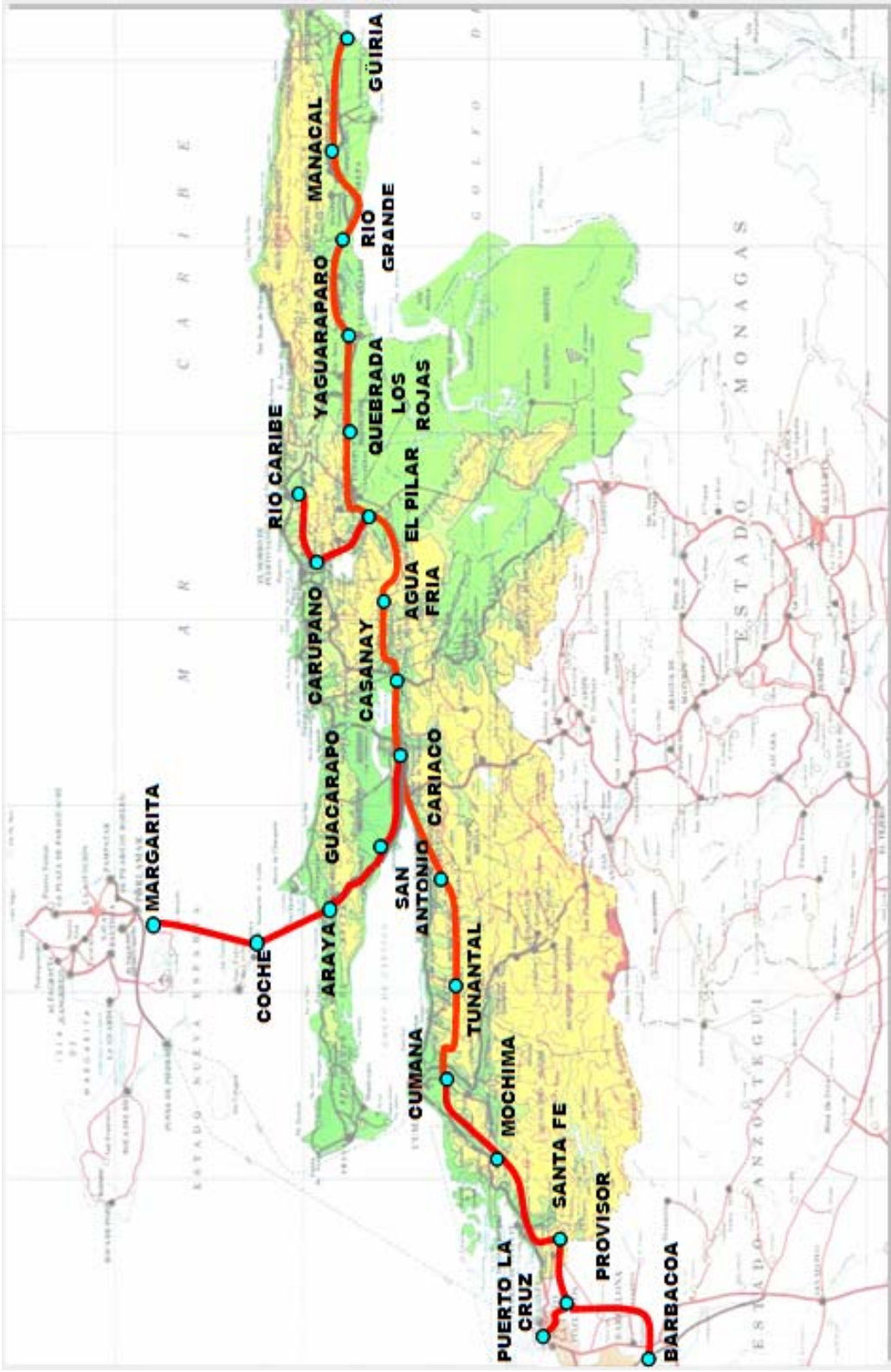


Figura I.1 Ruta del Gasoducto del Sistema Nor-Oriental de Gas (SINORGAS).

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

Un gasoducto es un conjunto de tuberías dispuestas de manera continua que sirven para transportar gases combustibles a gran escala. Consiste en una conducción de tuberías de acero, por las que el gas circula a alta presión, desde un lugar de origen. Generalmente se construyen enterrados en zanjas. Excepcionalmente, se construyen sobre la superficie. Por razones de seguridad, las regulaciones en la mayoría los países establecen que a intervalos determinados se sitúen válvulas en los gasoductos mediante las cuales se pueda bloquear el flujo en caso de incidente. Además, si la longitud del gasoducto es importante, pueden ser necesarias estaciones de compresión a intervalos.

Todas las partes de las instalaciones físicas a través de las cuales se mueve el gas en su transporte, incluyendo tuberías, válvulas, accesorios, bridas, recipientes a presión, y otros accesorios instalados en la tubería, estaciones de regulación, y conjuntos fabricados son pertenecientes al gasoducto. El inicio de un gasoducto puede ser un yacimiento o una planta de distribución, generalmente situada en las proximidades de un puerto de mar al que llegan buques que transportan gas natural licuado en condiciones criogénicas.

El impacto ambiental que producen los gasoductos, se centra en la fase de construcción. Una vez terminada dicha fase, pueden minimizarse todos los impactos asociados a la modificación del terreno, al movimiento de maquinaria, etc. Queda, únicamente, comprobar la efectividad de las medidas correctivas que se implanten en función de los impactos, repoblaciones, reforestaciones, protección de márgenes, etc.

En general, todos los gasoductos están obligatoriamente sometidos a procedimientos de evaluación de impacto ambiental por las autoridades competentes.

A lo largo de este procedimiento, se identifican, entre otras, las zonas sensibles ambientalmente y los espacios protegidos, se evalúan los impactos potenciales y se proponen acciones correctivas. ^[4]

2.1 Normas y criterios usados para el diseño de gasoductos

La norma ASME B31.8 establece los requerimientos de ingeniería considerados en el diseño y construcción seguro de gasoductos a presión. Aunque la seguridad es la consideración básica, este factor por si sólo no es necesariamente lo único que determina las especificaciones finales de cualquier sistema de gasoducto. Esta norma no es un manual de diseño; no elimina la intervención del diseñador o buen criterio de la ingeniería.

2.1.1 Clases de localidad para diseño y construcción según ASME B31.8

El factor más significativo en roturas de tuberías de transmisión es el daño causado por las actividades de terceros a lo largo y ancho de la tubería. El daño normalmente ocurre durante la construcción de otras instalaciones relacionadas con el suministro de servicio asociado con zonas residenciales y comerciales o industriales. Estos servicios tales como agua, gas, suministro de electricidad, sistemas de aguas negras, líneas de drenaje, zanjas, cables eléctricos, cables subterráneos de comunicación, calles y carreteras etc., se hacen más extensivos, y la probabilidad de dañar la tubería es mayor a medida que las concentraciones de edificios residenciales son mayores. La estimación de la clasificación de área ofrece un método para determinar el grado de exposición que tiene la tubería al daño.

La clase de localidad se define como el área geográfica a lo largo de un gasoducto clasificado de acuerdo al número y proximidad de los edificios construidos para la ocupación humana. Un gasoducto diseñado, construido y operado según los requerimientos de la clase de localidad es seguro para mantener la presión del sistema. Para determinar el número de edificios destinados a la ocupación humana

para un gasoducto en tierra, se cuenta el número de edificios destinados a ocupación humana en una zona de 400 metros de ancho a lo largo de la ruta del ducto, con este en el eje central, se divide el gasoducto en secciones aleatorias de 1600 metros de longitud de manera que las longitudes individuales vayan a incluir el número de edificios destinados a la ocupación humana. Las clases de localidad se especifican:

- *Clasificación 1.* La clasificación 1 se define como una sección de una milla que contiene 10 o menos edificios destinados para la ocupación humana. Una clasificación de área 1 tiene el propósito de reflejar áreas tales como terrenos baldíos, desiertos, montañas, terreno de pasto, terreno para la agricultura y cría y áreas de poca densidad poblacional.
 - ◆ *Clasificación 1, División 1.* Esta división es clasificación 1 donde el factor de diseño de la tubería es mayor a 0.72 pero igual o menor a 0.80 y que ha sido probada hidrostáticamente a 1.25 veces la presión máxima de operación.
 - ◆ *Clasificación 1, División 2.* Esta división es clasificación 1 donde el factor de diseño es igual o menor a 0.72 y que ha sido probada hidrostáticamente a 1.10 veces la presión máxima de operación.
- *Clasificación 2.* La clasificación 2 es cualquier sección de una milla que contiene más de 10 pero menos de 46 edificaciones destinadas para la ocupación humana. La clasificación tiene el propósito de reflejar áreas donde el grado de índice poblacional es intermedio entre clasificación 1 y clasificación 3 tales como áreas marginales alrededor de ciudades y pueblos, áreas industriales, ranchos y fincas, etc.

- *Clasificación 3.* La clasificación 3 es cualquier sección de una milla que contiene 46 o más edificaciones destinadas para la ocupación humana excepto cuando prevalece una clasificación de Área 4. La clasificación 3 tiene el propósito de reflejar áreas tales como de construcción de edificaciones suburbanas, centros comerciales, áreas residenciales, áreas industriales y otras áreas pobladas que no satisfacen los requerimientos de la clasificación 4.
- *Clasificación 4.* La clasificación 4 incluye áreas en donde prevalecen edificios multi-pisos, donde el tráfico es pesado o denso y donde pudieran existir numerosas instalaciones de servicios bajo tierra. Multipiso significa 4 pisos o más sobre el nivel de tierra incluyendo el primer piso (planta baja). No deberá tomarse en cuenta los sótanos o número de pisos del sótano.

2.1.2 Requerimientos de diseño de un sistema de tuberías de acero

Según la norma ASME B31.8 de *Sistemas de tuberías para el transporte y distribución de gas*, la presión de diseño para los sistemas de tuberías de acero para transporte de gas o el espesor nominal de pared para una presión de diseño dada, se deberá determinar mediante la fórmula de Barlow:

$$P = \frac{2 \cdot S \cdot t}{D} F \cdot E \cdot T \quad (2.1)$$

Donde, P: presión de diseño (Pa), D: diámetro nominal exterior de la tubería (m), t: espesor nominal de pared (m), S: esfuerzo mínimo de fluencia especificado, estipulado en la especificación bajo la cual se compró la tubería del fabricante (Pa), F: factor de junta longitudinal obtenido de la tabla 2.1. Al fijar los valores del factor de diseño F, se ha dado la debida consideración y se han dejado holguras para las distintas tolerancias por espesores deficientes que se dan en las especificaciones de

tubería listadas y aprobadas para uso en este Código, E: factor de junta longitudinal en la tabla 2.3, T: factor de disminución de temperatura, obtenido de la tabla 2.2.

2.1.3 Factores de diseño

Los factores de diseño en las tablas 2.1, 2.2 y 2.3 deberán usarse para la clase de localidad designada, para la temperatura de operación del sistema y para las especificaciones y clasificación de la tubería. ^[5]

Tabla 2.1 Factor de diseño F

Clasificación	Factor de diseño F
Clasificación 1, División 1	0,80
Clasificación 1, División 2	0,72
Clasificación 2	0,60
Clasificación 3	0,50
Clasificación 4	0,40

Tabla 2.2 Factor de ajuste por temperatura T

Temperatura, °F	Factor de ajuste por temperatura, T
250 o menos	1,0000
300	0,967
350	0,933
400	0,900
450	0,867

Tabla 2.3 Factor de junta longitudinal E

Factor de Junta Longitudinal, E		
No Espec	Clasificación de Tubería	Factor E
ASTM A 106	Sin costura	1,00
ASTM A 134	Soldada por arco eléctrico de fusión	1,00
ASTM A 135	Soldada por resistencia eléctrica	0,80
ASTM A 139	Soldada por fusión eléctrica	0,80
ASTM A 211	Tubo de acero soldado en espiral	0,80
ASTM A 333	Sin costura	1,00
ASTM A 381	Soldada por doble arco sumergido	1,00
ASTM A 671	Soldada por fusión eléctrica	
	Clases 13, 23, 33, 43, 53	0,80
	Clases 12, 22, 32, 42, 52	1,00
ASTM A 671	Soldada por fusión eléctrica	
	Clases 13, 23, 33, 43, 53	0,80
	Clases 12, 22, 32, 42, 52	1,00
API 5L	Sin costura	1,00
	Soldada por Resistencia Eléctrica	1,00
	Soldada por recalentamiento eléctrico	1,00
	Soldada por arco sumergido	1,00
	Soldada a tope al horno	0,60

2.1.4 Selección de materiales

Los materiales para sistemas de tuberías deben ser seleccionados considerando el fluido a ser transportado, cargas, medio ambiente, temperaturas y posibles fallas durante la instalación y operación. La selección de materiales debe asegurar la compatibilidad de todos los componentes del sistema de tuberías. Para esto deben ser

consideradas las propiedades como dureza, resistencia a la fatiga, soldabilidad, resistencia a la corrosión, entre otras.

Las tuberías deberán ser fabricadas con materiales construidos bajo la especificación API Specification for High-Test API Std 5L X. El esfuerzo de fluencia “S”, se encuentra estipulado en las especificaciones bajo las cuales la tubería es fabricada. Las tuberías de alta resistencia utilizadas para gasoductos de acuerdo a las especificaciones API 5L, deben cumplir con el esfuerzo de fluencia mostrado en la tabla 2.4: ^[3]

Tabla 2.4 Esfuerzo de fluencia admisible por grado de tubería

Grado	Esfuerzo de Fluencia (MPa)
A	206.84
B	241.32
X-42	289.57
X-52	358.53
X-65	448.16
X-70	482.63
X-80	551.58

2.2 Análisis de esfuerzos

En ingeniería estructural, los esfuerzos internos son magnitudes físicas con unidades de fuerza sobre área utilizadas en el cálculo de vigas, pilares, placas, láminas y tuberías. Los esfuerzos internos sobre una sección transversal plana de un elemento estructural se definen como un conjunto de fuerzas y momentos estáticamente equivalentes a la distribución de tensiones internas sobre el área de esa sección. En la figura 2.1 se muestra la representación gráfica de los esfuerzos normales (σ) y cortantes (τ) en un punto de un cuerpo.

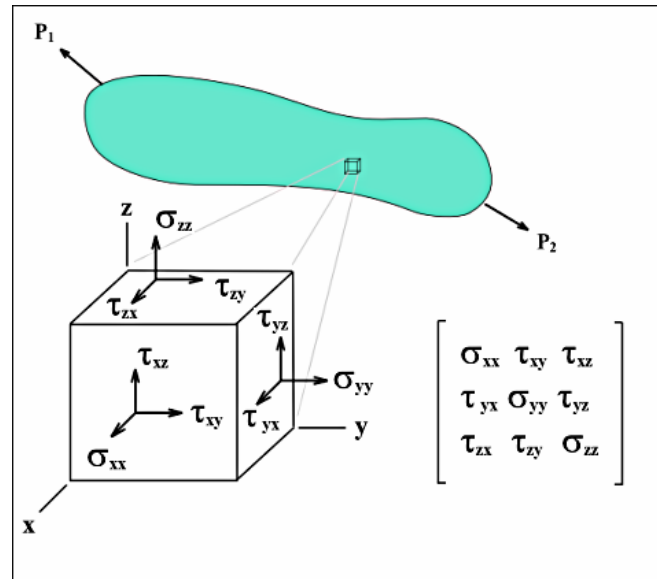


Figura 2.1 Representación gráfica de los esfuerzos en un punto de un cuerpo [2]

Existen esfuerzos que deben ser verificados para asegurar que no ocurran fallas en las tuberías debido a cargas excesivas. Uno de ellos es el esfuerzo circunferencial debido a la presión, la verificación de este esfuerzo debe ser llevada a cabo por el grupo que elabora las especificaciones de tuberías. Esto se debe a que este esfuerzo es el que determina el espesor de la tubería. Además, se deben verificar los esfuerzos primarios, secundarios y ocasionales.

2.2.1 Esfuerzos primarios

Los esfuerzos primarios corresponden a la suma de los esfuerzos producidos por los siguientes factores: peso (incluye el peso de la tubería, del fluido y del aislamiento de la tubería), presión, fuerzas y momentos aplicados sobre la tubería. Estos se caracterizan porque pueden producir una deformación plástica y la ruptura del material; no son auto-limitantes, es decir, una vez que comienza la deformación plástica ésta continúa avanzando hasta que se logre un equilibrio de fuerzas o hasta que ocurra la falla; no son de naturaleza cíclica y los límites admisibles para esta clase de esfuerzos son usualmente referidos al esfuerzo de fluencia o al esfuerzo

último del material. En la figura 2.2 se muestra una representación de la dirección del esfuerzo circunferencial (St) y longitudinal (Sl).

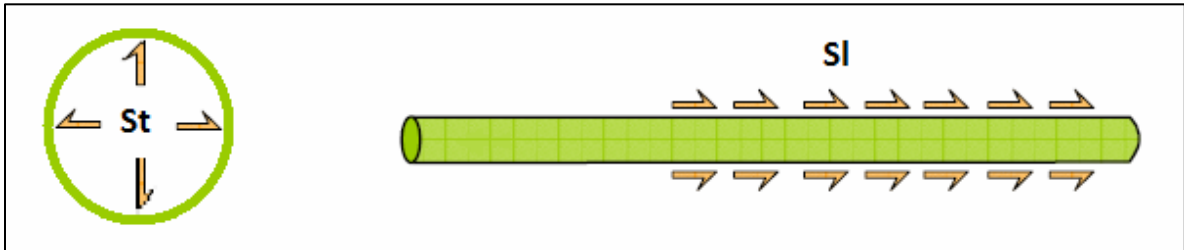


Figura 2.2 Representación del esfuerzo circunferencial (St) y longitudinal (Sl) [12]

2.2.2 Esfuerzos secundarios

Los esfuerzos de expansión o secundarios reciben ese nombre debido a que sólo se encuentran presentes durante los arranques y paradas de planta y tienden a disminuir con el tiempo debido a la relajación térmica del material. Estos se caracterizan por ser cíclicos, ya que son producto de las expansiones o contracciones térmicas; pueden producir fallas en el material, usualmente después de un número elevado de aplicaciones de carga; casi siempre son auto-limitantes, así que la simple aplicación de la carga no produce fallas; producen la creación de pequeñas grietas en las superficies interiores o exteriores de la tubería que presentan imperfecciones o defectos; tienen un efecto mayor en los materiales frágiles; cuando actúan sobre superficies corroídas, con soldaduras irregulares o con porosidades producen un deterioro mayor en las tuberías.

2.2.3 Esfuerzos ocasionales

Los esfuerzos ocasionales son cargas aplicadas solamente durante un lapso corto de tiempo durante la vida del sistema. Estos esfuerzos envuelven cargas producidas por sismos, vientos, golpes de ariete, vibraciones, etc. Normalmente las cargas ocasionales varían rápidamente en función del tiempo y en la mayoría de los

casos son de naturaleza cíclica. Por esto el análisis dinámico es usado para el estudio de estas cargas.

Las cargas ocasionales se resisten mejor por los soportes rígidos. Sin embargo, la flexibilidad del sistema debe ser la adecuada para poder acomodarse a los desplazamientos térmicos. En general, no se realiza el estudio de cargas ocasionales a todas las tuberías, sino en aquellas que tengan real importancia desde el punto de vista de procesos o aquellos que generen peligro en caso de su ruptura. Otra consideración general en el diseño para este tipo de cargas es que no se analizan concurrentemente cargas ocasionales de fenómenos distintos. Los esfuerzos ocasionales se caracterizan por: ocurrir durante un período corto de tiempo; ocurrir durante un período de 1-10% del tiempo de vida del sistema en operación y se restringen mediante el uso de soportes rígidos. En conclusión, el análisis de esfuerzo más usado para un sistema de tuberías se restringe al estudio de esfuerzos primarios y secundarios en conjunto, siempre y cuando los esfuerzos ocasionales no generen un impacto crítico en el sistema. ^[2]

2.3 Suelos

Para realizar un análisis de esfuerzos de un sistema de tuberías enterradas, es de vital importancia conocer algunas características del suelo que permitan calcular las cargas impuestas sobre el sistema de tuberías. Los suelos son el producto del desgaste o desintegración de las rocas de la corteza terrestre, debido a los agentes atmosféricos y a los diferentes procesos físico-químicos en la naturaleza. Por suelo se entiende todo depósito de partículas minerales y orgánicas disgregadas pero íntimamente asociadas entre si, pertenecientes al manto rocoso de la litosfera, las cuales presentan diferentes grados de cohesión y fuerzas intermoleculares que las mantienen vinculadas. Adicionalmente, el suelo puede también contener materias orgánicas que afectan sus propiedades físicas. Las partículas minerales son gránulos de diferentes tamaños, composición y características, que no se encuentran firmemente ligados

entre sí y cuya resistencia depende principalmente del índice de humedad y del porcentaje de gas que contienen.^[6]

2.3.1 Características de los suelos

Los suelos generan restricciones axiales, laterales y verticales sobre una tubería enterrada. La restricción axial del suelo depende principalmente del coeficiente de fricción de éste y de la presión que ejerce el suelo sobre la tubería enterrada o parcialmente enterrada. A su vez, la restricción del suelo al movimiento lateral de la tubería se basa en el empuje pasivo del ángulo de fricción del material de la superficie del suelo.

La interacción suelo tubería depende de las características cohesivas o friccionantes del material del cual está compuesto el suelo (basado en características como: tipo, densidad, ángulo y coeficiente de fricción del suelo), ya que éste actuará como una restricción al movimiento de la tubería. Los suelos varían a lo largo de las rutas propuestas para la evaluación del gasoducto, por esta razón se deben evaluar las condiciones del mismo y así verificar su influencia sobre la tubería. La fuerza de fricción axial, es una de las fuerzas que ejerce el suelo sobre la tubería y afecta su movimiento en la dirección longitudinal.

2.4 Marco Tectónico

Un sismo es un movimiento súbito e impredecible de una parte de la corteza terrestre, ocasionado por fuerzas que tienen su origen en el interior de la tierra. Puede ser de origen tectónico, producidos por el desplazamiento de bloques de la litosfera. En éste existe una liberación de energía acumulada que se transmite en forma de ondas elásticas, causando vibraciones y oscilaciones a su paso a través de las rocas sólidas del manto y la litosfera hasta arribar a la superficie terrestre.

Los terremotos pueden ser superficiales, intermedios o profundos, dependiendo de su profundidad. En relación a este punto existen diferentes criterios, sin embargo generalmente se localizan a los sismos superficiales en la franja que va desde 0-70 km de profundidad, los intermedios entre 70-300 km de profundidad, y los profundos entre 300-700 km de profundidad. En el caso de Venezuela, casi todos los sismos destructores han sido de origen superficial. ^[7]

La zona donde se asienta el corredor SINORGAS, presenta las evidencias de deformaciones tectónicas cuaternarias más importantes localizadas en una franja de dirección oeste-este (Figura 2.3), lo cual corresponde con la sección oriental del límite actual entre las placas del Caribe y Suramérica (Figura 2.4). Esta franja se caracteriza por la existencia de una zona de deformación tectónica de unos 150 km de ancho en sentido norte-sur, siendo sus límites las fallas de El Yaque en el norte y al sur el Corrimiento de Pirital.

En ambos lados de la zona de deformación principal, se localizan importantes fallas de dirección oblicua, las cuales se apoyan en dicha zona, sin ser penetrativas en el sistema de fallas de Úrica, San Francisco, Río Grande Sur, y las fallas de Margarita, Caracolito, Tres Puntas y Patao Norte. Muchos son los artículos que hablan sobre la zona de deformación en el Nor Oriente de Venezuela, postulando diferentes modelos de tectónica de placas, coincidiendo todos, en que la falla de El Pilar constituye el accidente de mayor importancia entre las placas Caribe y Suramérica. ^[8]

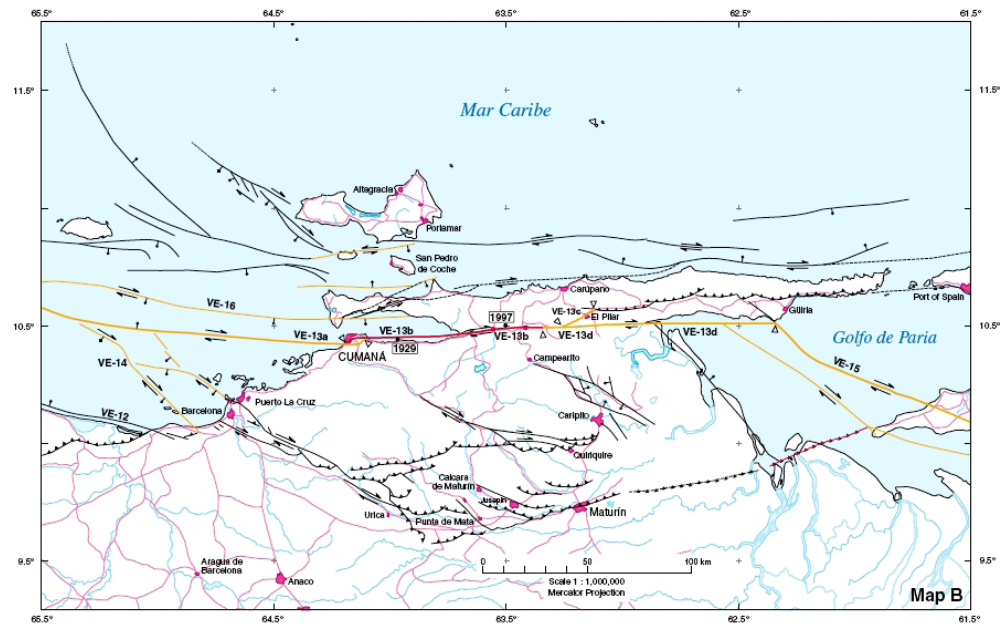


Figura 2.3 Mapa neotectónico del oriente [8]

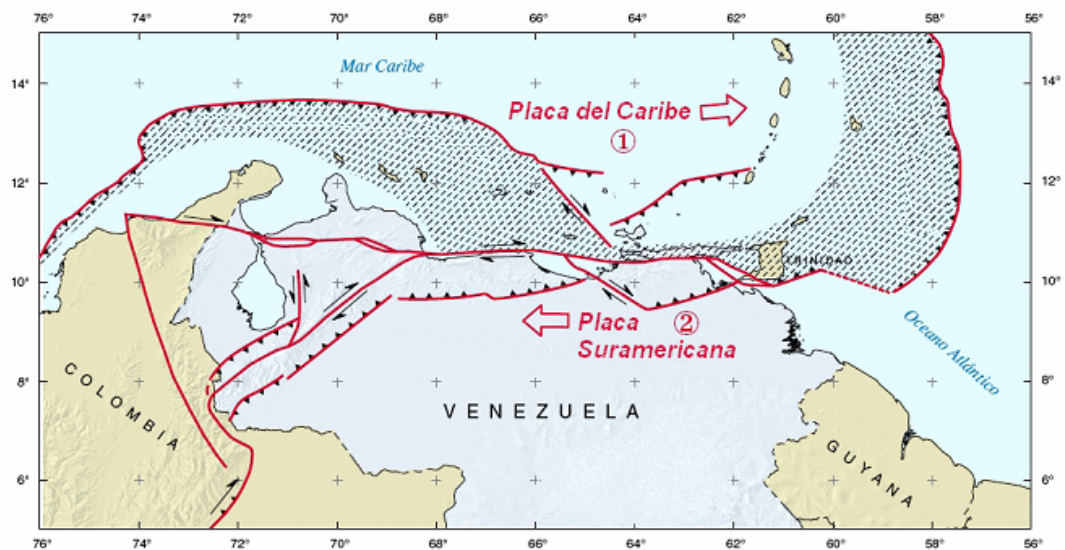


Figura 2.4 Mapa esquema de interacción Placa Suramericana y Placa del Caribe [8]

2.4.1 Desplazamientos sísmicos permanentes

El principal problema asociado normalmente a desplazamiento del terreno es el daño de las tuberías. Se puede distinguir entre desplazamientos transitorios asociados

a la trepidación sísmica y desplazamientos permanentes por fenómenos locales como licuación del suelo, deslizamientos, o por cruce de las fallas que sufran ruptura. Se debe evitar el tránsito de la tubería por las zonas deslizables, haciendo el mayor esfuerzo posible en ese sentido, sobre todo respecto a las deslizables. Una opción que debe considerarse es la de mejorar el terreno por donde transita el gasoducto. Si fuera imposible la reubicación y la mejora del sitio, es necesario diseñar la tubería para afrontar, con un buen desempeño, los desplazamientos permanentes que se puedan generar. A tal fin, debe reforzarse en esos tramos, aumentando el espesor de su pared y/o utilizando un acero de mayor resistencia.

En función de la magnitud del desplazamiento esperado, de las dimensiones espaciales de la zona deformada, de las características geométricas y mecánicas del tubo, y de las propiedades del terreno, pueden estimarse las máximas deformaciones a las que éste quedará sometido, las cuales deberán satisfacer las recomendaciones de diseño. Una zona con deformación permanente debido a deslizamiento, puede idealizarse según los esquemas de las figuras 2.5 y 2.6, dependiendo de la posición del tubo respecto a la dirección de la deformación. Se denomina L a la longitud de la zona desplazada en dirección del desplazamiento, W al ancho de esa zona en dirección normal al desplazamiento, y δ al valor del desplazamiento permanente.

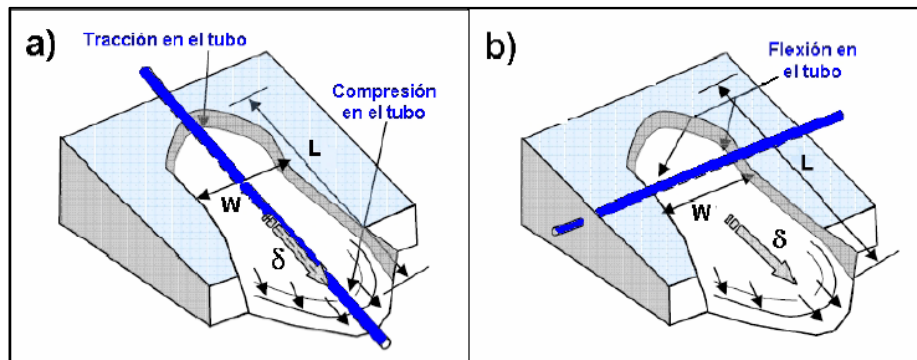


Figura 2.5 Desplazamientos permanentes del terreno para casos extremos de su dirección: **a)** paralela a la deformación; **b)** normal a la deformación [8]

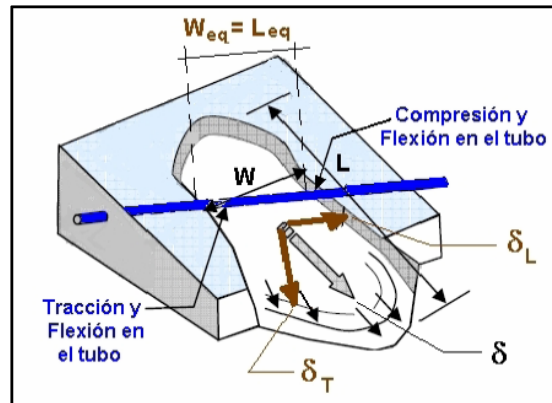


Figura 2.6 Caso general de desplazamientos permanentes del terreno y solicitaciones en la tubería [8]

Si el tubo está colocado en dirección del desplazamiento (Figura 2.5a) sufre deformación axial, con tracción en un extremo y compresión en otro. Si está colocado en dirección normal al desplazamiento (Figura 2.5b) sufre deformación transversal. En un caso general (Figura 2.6), el tubo sufrirá una combinación de flexión con tracción o compresión, según el extremo de que se trate [8]

2.4.2 Licuefacción

El fenómeno de licuefacción es la disminución sustancial y temporal de la resistencia al corte de un terreno, como producto de la acción de ondas de corte sísmicas sobre él y de un aumento importante en la presión de poros. Para que un terreno se licue, las ondas sísmicas deben tener suficiente energía, para producir el trabajo mecánico en el esqueleto mineral del suelo que genere un incremento en la presión de poros para tal fin. A medida que el contenido de finos en un suelo granular aumenta, su propensión a la licuefacción disminuye. Para decir que un suelo es licuable se debe cumplir con los siguientes factores:

- Material granular de gradación uniforme a poca profundidad
- Poco contenido de finos

- Material de densidad suelta
- Material saturado (presión de poros elevada)
- Ondas sísmicas con suficiente energía^[9]

La licuación es propia de suelos de comportamiento granular (arenas y limos no plásticos o poco plásticos) y se considera un fenómeno no drenado. Los suelos granulares finos son los más susceptibles y entre ellos, los más propensos son: los de gradación uniforme, los de partículas redondeadas y los suelos sueltos. Cuando ocurre la licuefacción del suelo alrededor de la tubería, fuerzas de flotación son extendidas sobre la tubería y deben ser resistidas por los anclajes y las fuerzas de resistencia impuestas por el suelo licuado cuando el gasoducto empieza a elevarse.

2.4.3 Falla

Una falla es una grieta en la corteza terrestre. Generalmente, las fallas están asociadas con, o forman, los límites entre las placas tectónicas de la tierra. En una falla activa, las piezas de la corteza de la tierra a lo largo de la falla, se mueven con el transcurrir del tiempo. El movimiento de estas rocas puede causar terremotos. Las fallas inactivas son aquellas que en algún momento tuvieron movimiento pero que ya no se desplazan. El tipo de movimiento en una falla depende del tipo de falla. En la figura 2.7 se muestran los tipos de fallas.

Fallas normales

- Las fallas normales se producen en áreas donde las rocas se están separando (fuerza tractiva), de manera que la corteza rocosa de un área específica es capaz de ocupar más espacio.
- Las rocas de un lado de la falla normal se hunden con respecto a las rocas del otro lado de la falla. Las fallas normales no crean salientes rocosos.

Fallas inversas

- En una falla inversa, el área expuesta de la falla es frecuentemente un saliente. De manera que no se puede caminar sobre ella.
- Las fallas inversas ocurren en áreas donde las rocas se comprimen unas contra otras (fuerzas de compresión), de manera que la corteza rocosa de un área ocupe menos espacio. La roca de un lado de la falla es ascendida con respecto a la del otro lado.
- Fallas de empuje son un tipo especial de falla inversa. Ocurren cuando el ángulo de la falla es muy pequeño.

Fallas laterales

- El movimiento a lo largo de la grieta de la falla es horizontal, el bloque de roca a un lado de la falla se mueve en una dirección mientras que el bloque de roca del lado opuesto de la falla se mueve en dirección opuesta.
- Las fallas laterales no dan origen a precipicios o fallas escarpadas porque los bloques de roca no se mueven hacia arriba o abajo en relación al otro ^[10].

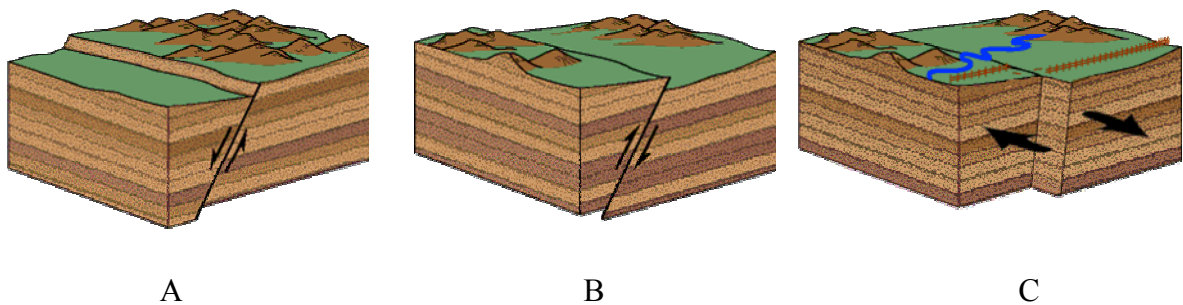


Figura 2.7 Tipos de fallas: a) Falla normal;b) Falla inversa;c) Falla lateral [10]

2.4.4 Propagación de ondas sísmicas

Las ondas sísmicas son oscilaciones que se propagan desde una fuente (foco o hipocentro) a través de un medio material elástico (sólido y/o líquido) transportando energía mecánica. Al romperse la roca se generan ondas que se propagan a través de

la tierra, tanto en su interior como por su superficie. Básicamente hay cuatro tipos de ondas. La primera de ellas, llamada ondas P, consiste en la transmisión de compresiones y rarefacciones de la roca, de forma similar a la propagación del sonido, son las primeras en alcanzar la superficie terrestre y viajan a través de rocas sólidas y materiales líquidos, siendo sus vibraciones longitudinales (figura 2.8a). El segundo tipo, u ondas S, consiste en la propagación de ondas de cizalla, donde las partículas se mueven en dirección perpendicular a la dirección de propagación de la perturbación (figura 2.8b), viajan más lento que las ondas P, por lo que arriban con posterioridad a la superficie terrestre. Producen movimientos de las partículas sólidas en dirección perpendicular al sentido de propagación. No se propagan a través de las partes líquidas de la tierra. Su movimiento es de arriba abajo y de lado a lado, sacudiendo la superficie del suelo vertical y horizontalmente. Este es el movimiento responsable del daño a las estructuras. Estos dos tipos de ondas se pueden propagar por el interior de la tierra y se les conoce como ondas de volumen.

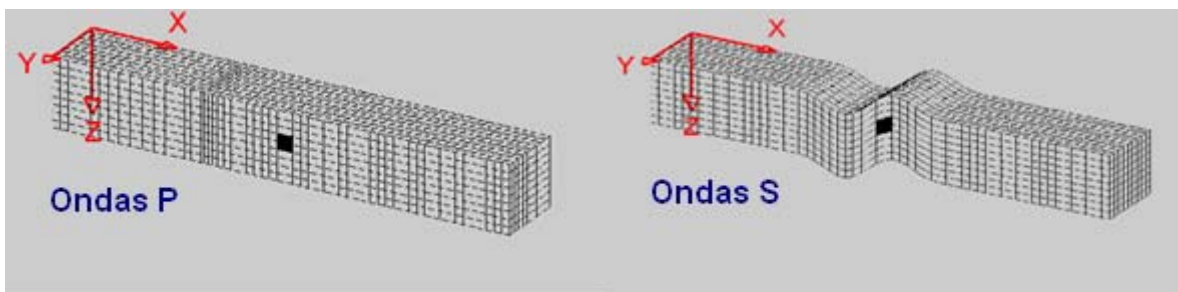


Figura 2.8 Ondas de volumen: a) Ondas P; b) Ondas S [11]

Existe un tercer tipo de ondas, llamadas ondas superficiales debido a que sólo se propagan por las capas más superficiales de la tierra, decreciendo su amplitud con la profundidad. Dentro de este tipo de ondas se pueden diferenciar dos modalidades, denominadas ondas Rayleigh y ondas Love en honor a los científicos que demostraron teóricamente su existencia.

Las ondas Rayleigh se forman en la superficie de la tierra y hacen que las partículas se desplacen según una trayectoria elíptica retrógrada en el plano vertical orientado en la dirección en que viajan las ondas (figura 2.9b). En cambio las ondas Love se originan en la interfase de dos medios con propiedades mecánicas diferentes; en este caso el movimiento de las partículas es perpendicular a la dirección de propagación de la perturbación, similar a las ondas S, pero solo ocurre en el plano de la superficie terrestre. Viajan más rápido que las Ondas Rayleigh (figura 2.9a)^[11]

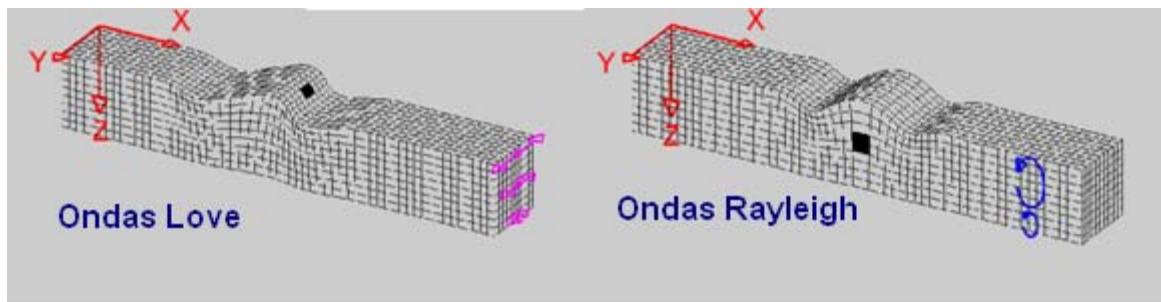


Figura 2.9 Ondas de superficie: a) Ondas Love; b) Ondas Rayleigh [11]

Una fuente de daño posible de las tuberías, y que lo ha causado en varios terremotos, es la propagación de las ondas sísmicas en el terreno, la cual genera tensiones a lo largo de la tubería. Las deformaciones impuestas están asociadas a la velocidad pico de movimiento del terreno, a la velocidad de transmisión horizontal de las ondas sísmicas y al tipo de ondas. El tipo de onda importante en la cercanía de las fallas, como es el caso de este estudio, es el de la onda de corte (Su velocidad horizontal aparente está relacionada con la velocidad de las ondas en los estratos profundos y no debe utilizarse la velocidad de las capas superficiales).

Las deformaciones principales que hay que tomar en cuenta son las longitudinales, las cuales pueden quedar limitadas por la transferencia efectiva de esfuerzos entre el suelo y la tubería, en función de la máxima fuerza de fricción

posible. Las deformaciones transversales pueden omitirse en este caso, utilizando para el diseño conjunto con ellas, las correspondientes a los desplazamientos sísmicos transitorios ^[12].

2.5 Método de elementos finitos

El método de los elementos finitos es un método numérico general para la aproximación de soluciones de ecuaciones diferenciales parciales muy utilizado en diversos problemas de ingeniería y física. El método se basa en dividir el cuerpo, estructura o dominio (medio continuo), sobre el que están definidas ciertas ecuaciones integrales que caracterizan el comportamiento físico del problema, en una serie de subdominios no intersectantes entre sí denominados elementos finitos. Dentro de cada elemento se distinguen una serie de puntos representativos llamados nodos. Dos nodos son adyacentes si pertenecen al mismo elemento finito; además, un nodo sobre la frontera de un elemento finito puede pertenecer a varios elementos. El conjunto de nodos, considerando sus relaciones de adyacencia, se llama malla.

Los cálculos se realizan sobre una malla o discretización creada a partir del dominio con programas especiales llamados generadores de mallas, en una etapa previa a los cálculos que se denomina pre-proceso. De acuerdo con las relaciones de adyacencia o conectividad se define el módulo de un conjunto de variables incógnitas definidas en cada nodo y denominadas grados de libertad. El comportamiento de una determinada variable se puede escribir en forma de sistema de ecuaciones lineales o linealizadas. La matriz de dicho sistema de ecuaciones se llama matriz de rigidez del sistema. El número de ecuaciones de dicho sistema es proporcional al número de nodos. ^[13]

2.5.1 Modelo de elementos finitos para tuberías enterradas

Para un diseño y análisis detallado de la tubería, el modelo de elementos finitos es recomendado. El tubo puede ser modelado en tres dimensiones en cáscara o como

una viga bidimensional, dependiendo de la geometría de la tubería y la condición de carga. El suelo circundante de la tubería puede ser modelado con un comportamiento elasto-plástico. El comportamiento de la rigidez del suelo en la dirección axial es calculado según las propiedades del suelo en la zanja, mientras que el comportamiento en la dirección transversal puede ser modelado según las condiciones del suelo natural en el sitio. La rigidez vertical es diferente para los casos de soporte y levantamiento. Para el suelo de soporte, la rigidez puede ser calculada según las características del suelo oriundo, mientras que la rigidez de levantamiento puede ser calculada usando resultados de pruebas actualizadas en el sitio. El análisis dinámico debe ser tomado en cuenta considerando el amortiguamiento de los materiales y el efecto de la inercia en el sistema. En este modelo, el historial de excitación del suelo es asignado para ajustar el comportamiento del suelo. Mientras que al analizar la tubería por deformación permanente del suelo (PGD), es usualmente supuesto que la deformación del suelo es gradual y un análisis pseudo-estático puede ser tomado despreciando los efectos de amortiguamiento y de inercia. En este modelo, la estructura del desplazamiento es asignado según el comportamiento del suelo.^[12]

2.5.2 Modelado de tuberías continuas

Las interacciones tridimensionales entre el suelo y la tubería (Figura 2.10) pueden ser modeladas idealmente como un tubo restringido por un conjunto de resortes multilineales como se muestra en la figura 2.11. La tubería es tratada como continua cuando sus juntas se encuentran soldadas debido a que generalmente el material de las uniones presenta mejores propiedades que el material del tubo. Ésta puede ser tratada como una viga continua.^[12]

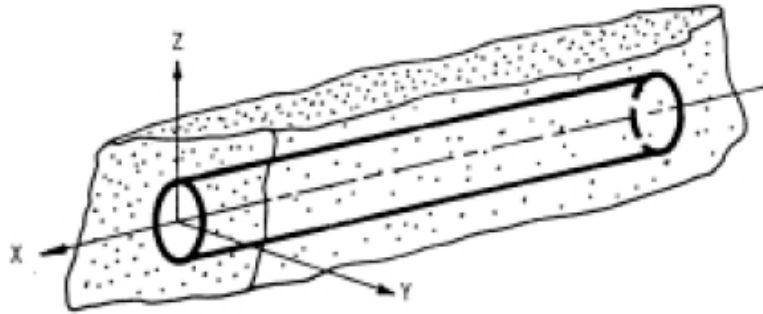


Figura 2.10 Interacciones tridimensionales actuales entre el suelo y la tubería [12]

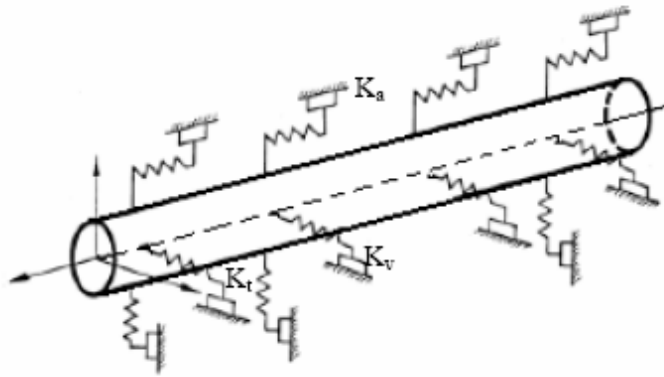


Figura 2.11 Modelo de interacción 3D entre el suelo y la tubería para análisis pseudo-estático de tuberías continuas [12]

2.6 Análisis de sensibilidad

La zona del gasoducto sometida a evaluación de esfuerzos se determina aplicando un análisis de sensibilidad. Este es un análisis que permite identificar las variables más críticas o construir escenarios posibles que permitirán analizar el comportamiento de un resultado bajo diferentes supuestos. El análisis de sensibilidad permite medir el cambio de un resultado, dado un cambio en el conjunto de variables, tanto en términos relativos como en términos absolutos. Es el primer paso para reconocer la incertidumbre, es decir, examina como el cambio en una variable afecta un resultado.

Para realizar este tipo de análisis se debe reconocer que el cambio en el resultado depende de cómo se haya construido el modelo y de los valores iniciales de las variables por analizar. También, que los cambios en las variables deben ser iguales y que se puedan comparar los resultados producto de éstos. Además, reconocer la posibilidad de que las relaciones entre las variables y los resultados no sean lineales. Por último, al analizar la sensibilidad de las variables, hacerlo individualmente para determinar las más críticas. ^[14]

2.7 Análisis dinámico

El análisis dinámico comprende el estudio de las fuerzas, desplazamientos, velocidades y aceleraciones que aparecen en una estructura o mecanismo como resultado de las deformaciones que aparecen en estos. Gran parte de estos análisis pueden ser simplificados al reducir el mecanismo o estructura a un sistema lineal, con lo que es posible aplicar principios de cálculo para trabajar con casos simplificados del elemento.

2.7.1 Análisis dinámico de estructuras

El análisis dinámico de estructuras se refiere al análisis de las pequeñas oscilaciones o vibraciones que puede sufrir una estructura alrededor de su posición de equilibrio. El análisis dinámico es importante porque ese movimiento oscilatorio produce una modificación de las tensiones y deformaciones existentes, que deben tenerse en cuenta por ejemplo para lograr un diseño sísmico adecuado. Como resultado de una perturbación exterior un edificio o estructura resistente que bajo la acción de unas cargas estaba en reposo, experimenta oscilaciones que en primera aproximación pueden representarse como un movimiento armónico compuesto, caracterizado por un sistema lineal de ecuaciones del tipo:

$$M \ddot{X}(t) + C \dot{X}(t) + KX(t) = F(t) \quad (2.2)$$

Donde:

M , C , K : Son la matriz de masas, la matriz de amortiguación y la matriz de rigidez de la estructura, respectivamente.

$X(t)$, $\dot{X}(t)$, $\ddot{X}(t)$: Son tres vectores que representan la posición, velocidad y aceleración de un conjunto de puntos de la estructura, respectivamente.

$F(t)$: Es un vector que representa las fuerzas aplicadas sobre el mismo conjunto de puntos anteriores, este vector está asociado a la carga que perturba la estructura.

El análisis dinámico incluye estudiar y modelar al menos estos tres aspectos:

- Análisis modal de frecuencias y modos propios de vibración. Tanto las frecuencias naturales de vibración de una estructura como los modos principales de vibración dependen exclusivamente de la geometría, los materiales y la configuración de un edificio o estructura resistente
- Análisis de la carga exterior
- Análisis de las fuerzas dinámicas inducidas

2.7.2 Análisis dinámico en elementos finitos

Cuando se requiere un análisis más detallado del comportamiento de sistemas sometidos a cargas dinámicas se emplea la técnica de análisis por elementos finitos. Debido a la elevada dimensión de los vectores que aparecen en este tipo de aplicaciones, la resolución exacta no resulta práctica y se usan diversos procedimientos de integración numérica basados en el método de los elementos finitos y variantes del mismo. Estos métodos pueden clasificarse según varios criterios:

- Métodos implícitos/explicitos: un método explícito es el que no requiere la resolución de un sistema de ecuaciones no trivial a cada paso de tiempo. En general los métodos explícitos requieren menor tiempo de computación que

los métodos implícitos aunque frecuentemente presentan el problema de no ser incondicionalmente convergentes, y requieren evaluar primero el paso de tiempo máximo para que la computación sea numéricamente estable.

- Métodos incondicionalmente/condicionalmente convergentes: un método de integración numérica es incondicionalmente convergente cuando la aproximación numérica calculada mediante el mismo no diverge exponencialmente de la solución exacta. Los métodos explícitos suelen ser condicionalmente convergentes pero no incondicionalmente convergentes. ^[15]

2.7.3 Espectro de frecuencias

El espectro de frecuencias de un fenómeno ondulatorio, superposición de ondas de varias frecuencias, es una medida de la distribución de las amplitudes de la señal analizada en cada frecuencia. También se llama espectro de frecuencias al gráfico de intensidad en función de la frecuencia de una onda particular. El espectro de frecuencias o descomposición espectral de frecuencias puede aplicarse a cualquier concepto asociado con frecuencia o movimientos ondulatorios como son los colores, las notas musicales, las ondas electromagnéticas de radio y ondas sísmicas.

2.7.4 Análisis espectral

Análisis se refiere a la acción de descomponer algo complejo en partes simples o identificar en ese algo complejo las partes más simples que lo forman. Existe una base física para modelar fenómenos ondulatorios en superposición de diferentes frecuencias. Un proceso que cuantifique las diversas intensidades de cada frecuencia se llama análisis espectral.

Matemáticamente el análisis espectral está relacionado con una herramienta llamada transformada de Fourier o análisis de Fourier. Ese análisis puede llevarse a cabo para pequeños intervalos de tiempo, o menos frecuentemente para intervalos

largos, o incluso puede realizarse el análisis espectral de una función determinista. Además la transformada de Fourier de una función no sólo permite hacer una descomposición espectral de los formantes de una onda o señal oscilatoria, sino que con el espectro generado por el análisis de Fourier incluso se puede reconstruir (sintetizar) la función original mediante la transformada inversa. Para poder hacer eso, la transformada no solamente contiene información sobre la intensidad de determinada frecuencia, sino también sobre su fase. Esta información se puede representar como un vector bidimensional o como un número complejo. Es importante recordar que la transformada de Fourier de una onda aleatoria, mejor dicho estocástica, es también aleatoria. Un ejemplo de este tipo de onda es el ruido ambiental. Por tanto para representar una onda de ese tipo se requiere cierto tipo de promediado para representar adecuadamente la distribución frecuencial. ^[16]

2.7.5 Teorema de muestreo de Nyquist-Shannon

El teorema de Nyquist-Shannon es usado para determinar la variación en el rango de frecuencias cuando se analiza la respuesta en el tiempo de un sistema producto de la aplicación de un espectro de frecuencias. El teorema de muestreo de Nyquist-Shannon, también conocido como teorema de muestreo de Whittaker-Nyquist-Kotelnikov-Shannon es un teorema fundamental que trata con el muestreo, que no debe ser confundido o asociado con la cuantificación, proceso que sigue al de muestreo en la digitalización de una señal y que, al contrario del muestreo, no es reversible (se produce una pérdida de información en el proceso de cuantificación, incluso en el caso ideal teórico, que se traduce en una distorsión conocida como error o ruido de cuantificación y que establece un límite teórico superior a la relación señal-ruido). Dicho de otro modo, desde el punto de vista del teorema, las muestras discretas de una señal son valores exactos que aún no han sufrido redondeo o truncamiento alguno sobre una precisión determinada, esto es, aún no han sido cuantificadas.

El teorema demuestra que la reconstrucción exacta de una señal periódica continua en banda base a partir de sus muestras es matemáticamente posible si la señal está limitada en banda y la tasa de muestreo es superior al doble de su ancho de banda. Dicho de otro modo, la información completa de la señal analógica original que cumple el criterio anterior está descrita por la serie total de muestras que resultaron del proceso de muestreo. No hay nada, por tanto, de la evolución de la señal entre muestras que no esté perfectamente definido por la serie total de muestras. [17]

2.8 Programa de Simulación

El programa de simulación a utilizar es el CAESAR II versión 4.4, software de análisis estructural en tuberías, capaz de manejar cargas estáticas y dinámicas como las generadas por la actividad sísmica en los cruces de fallas geológicas. CAESAR II es un software computacional usado para analizar esfuerzos en tuberías. Éste es desarrollado, comercializado y vendido por COADE Engineering Software. Este programa es una herramienta de ingeniería usada en el diseño y análisis de sistemas de tuberías. El usuario del software crea un modelo del sistema de tuberías usando elementos y define las condiciones de carga impuestas en el sistema. Con esta entrada, el programa genera resultados en forma de desplazamientos, cargas y esfuerzos en el sistema desde el principio hasta el fin. Adicionalmente, éste compara los resultados con los límites especificados por los códigos y normas actuales.

CAESAR II es usado más a menudo para el diseño mecánico de nuevos sistemas de tuberías. Las estructuras deben ser lo suficientemente rígidas para soportar su propio peso y también lo suficientemente flexibles para aceptar la deformación térmica. Estas cargas, los desplazamientos y los esfuerzos pueden ser estimados usando el análisis del modelo de tuberías en el software. Para ayudar en el análisis del diseño, el programa incorpora muchas de las limitaciones puestas sobre esos sistemas y sus equipos adjuntos. Estos límites son típicamente especificados por

cuerpos de ingeniería (como los comités ASME B31, ASME Sección VIII y Welding Research Council) o por fabricantes relacionados con la tubería o equipos (API, NEMA o EJMA).

CAESAR II no está limitado al análisis térmico de sistemas de tuberías. Éste también tiene la capacidad de modelar y analizar todo el rango de cargas estáticas y dinámicas las cuales pueden ser impuestas en el sistema. Por lo tanto, el software no es sólo una herramienta para el nuevo diseño sino que es también valioso en resolver problemas o rediseñar sistemas existentes. Aquí, uno puede determinar la causa de falla o evaluar la severidad de las condiciones operativas inesperadas como la interacción entre el fluido y la tubería o vibración mecánica causada por equipos rotativos o cargas adicionales.

En fin, CAESAR II maneja la modelación de redes de tuberías sujetas a cargas dinámicas, peso, presión, temperatura, sísmicas y otras cargas estáticas. Entre las capacidades de análisis estático del software se incluyen: cargas generadas por el usuario, cargas por viento, consideraciones especiales de deformaciones de las tuberías a altas temperaturas, simulación de flexibilidad, análisis de fatiga, evaluación de esfuerzos en recipientes y conexiones de equipos, entre otros. Las capacidades de análisis dinámico incluyen:

- Análisis modal y cálculo de frecuencias naturales
- Combinación de cargas dinámica y estática
- Análisis de cargas por impacto
- Análisis de espectro para carga de impacto, sismos, y excitaciones por movimientos independientes de los soportes
- Análisis sísmicos según: ASCE y UBC, etc. ^[18]

CAPÍTULO III

ANALISIS DE LA INTEGRIDAD MECANICA APLICANDO METODOLOGÍA RECOMENDADA

3.1 Introducción

En este capítulo se describen detalladamente las técnicas, premisas, suposiciones, métodos y la manera sistemática de realizar los cálculos según los documentos de referencia, ecuaciones y normas usadas para el desarrollo de la evaluación del diseño mecánico del gasoducto del Sistema Nor-Oriental de Gas en los cruces de fallas geológicas. El trabajo está orientado en evaluar el grado de resistencia mecánica del gasoducto SINORGAS en las zonas donde este cruza a las fallas geológicas existentes en la región. Para determinar, en caso de la ocurrencia de un evento de origen sísmico, si se puede garantizar la seguridad del ambiente, de los habitantes y de la inversión realizada. Por consiguiente, es necesario realizar un estudio de esfuerzos y deformaciones según las características de operación, del suelo y la data sísmica, mediante la aplicación de técnicas detalladas de análisis a fin de establecer las consecuencias que un suceso de tal magnitud originaría sobre el sistema de tuberías. Se aplica la metodología recomendada por el Instituto de Tecnología de Kampur y la técnica de análisis por elementos finitos mediante el uso de un software comercial. Se establecen comparaciones entre los resultados para asegurar la confiabilidad de estos y para compararlos con los límites establecidos por los códigos y normas existentes.

Inicialmente se recopiló la información correspondiente a las características operacionales del sistema: diámetro, espesor, material, presión, temperatura, etc., tomados de los documentos generales del proyecto. Asimismo, se investigó las características de los suelos: peso específico, ángulo de fricción, cohesión, etc., usando los estudios geotécnicos y los planos descriptivos de la disciplina civil.

Seguidamente, se resumió la información concerniente al peligro sísmico: grado de deformación del suelo, cruces de fallas significativos, aceleración pico del terreno, características geométricas de la zona de deformación, entre otros, utilizando como base los estudios realizados por la fundación venezolana de investigaciones sismológicas (FUNVISIS) para los gasoductos Barbacoa-Margarita y Güiria-San Antonio pertenecientes al Sistema Nor-Oriental de Gas.

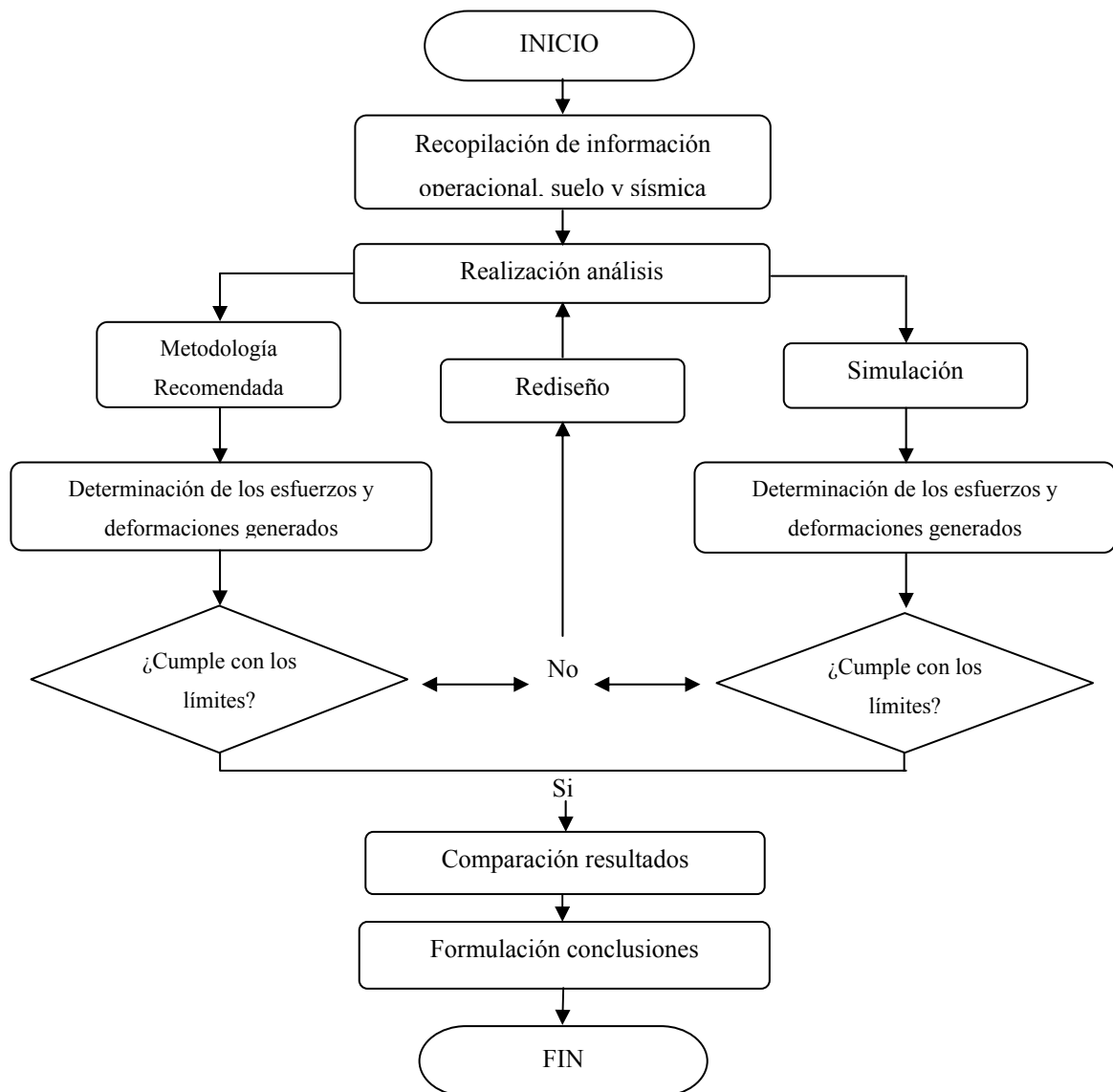


Figura 3.1 Procedimiento utilizado para el desarrollo de la metodología

En la figura 3.1 se muestra un diagrama que refleja los aspectos más resaltantes de la metodología empleada. En los apéndices A, B y C se describen las características operacionales, propiedades del suelo y data sísmica necesarias para la realización de la evaluación del diseño mecánico. Al aplicar este método se establecieron los límites permisibles de esfuerzos y deformaciones para la evaluación del sistema de tuberías según el tipo de material utilizado, la configuración geométrica y las cargas que actúen sobre el sistema. La normativa ASME B31.8 “*Sistemas de tubería para el transporte y distribución de gas*” enuncia en sus disposiciones generales que las condiciones que puedan causar esfuerzos adicionales en cualquier sección de la tubería como esfuerzos inducidos por terremotos o terreno inestable deberían ser estimadas mediante el uso de guías de ingeniería especializadas. Ante la inexistencia de una normativa que se refiera a la evaluación del diseño ante cargas sísmicas para gasoductos enterrados, se concibe como patrón de diseño la norma ASME B31.8 y las guías internacionales especializadas para estimar las consecuencias de una posible actividad sísmica sobre el gasoducto, es decir, los esfuerzos y deformaciones generados por un evento de estas características. Se calcularon los esfuerzos y deformaciones generados por las condiciones de carga inicialmente establecidos siguiendo los procedimientos de las guías de diseño sísmico, tomando en cuenta las características operacionales, propiedades del suelo y la data sísmica. Se estableció una comparación con los límites de diseño previamente definidos para verificar que el nivel de resistencia del gasoducto es apropiado para las condiciones de carga.

La tubería debe ser verificada para todos los peligros sísmicos que se puedan encontrar en la zona luego de un diseño funcional (no sísmico). La seguridad del gasoducto debe ser evaluada para cargas sísmicas conjuntamente con las cargas operacionales (Presión, temperatura, etc). El procedimiento de cálculo para las cargas operacionales iniciales es descrito en la siguiente sección. Para este análisis y criterios de diseño se requiere información de la tubería, del suelo y del peligro sísmico.

En la mayoría de los casos los peligros sísmicos no pueden ser cuantificados con precisión. Por lo tanto, basado en los datos disponibles y la experiencia, deben tomarse en cuenta suposiciones razonables para definir apropiadamente el modelo a utilizar para evaluar la resistencia del sistema. En general es recomendable tomar en cuenta el comportamiento post-elástico del sistema. Sin embargo, componentes críticos de la tubería, los cuales pueden causar pérdidas humanas o un alto impacto al ambiente, deben ser diseñadas para permanecer elásticos.

Ramberg-Osgood desarrolló una correlación que permite determinar el grado de resistencia que presenta un material específico bajo condiciones de carga, basado en la aplicación de dos parámetros de estudio fundamentales reflejados en la tabla 3.1. Esta relación es extensamente usada para modelados post-elásticos de tuberías y relaciona los esfuerzos y deformaciones con las propiedades del material.

$$\varepsilon = \frac{\sigma}{E} \left[1 + \frac{n}{1+r} \left(\frac{\sigma}{\sigma_y} \right)^r \right] \quad (3.1)$$

Donde, ε : Deformación en la tubería, σ : Esfuerzo en la tubería (Pa), E : Módulo de elasticidad (Pa), σ_y : Esfuerzo de fluencia (Pa) y n , r : Parámetros de Ramberg-Osgood.

Tabla 3.1 Parámetros de Ramberg-Osgood para tuberías enterradas según el acero

Grado de la tubería	Grade B	X – 42	X – 52	X – 60	X – 65	X – 70
Esfuerzo de fluencia (MPa)	227	310	358	413	448	517
n	10	15	9	10	38	5.5
r	100	32	10	12	31	16.6

3.2 Esfuerzos y deformaciones iniciales en la tubería

Un sistema de tuberías constituye una estructura especial irregular y ciertos esfuerzos pueden ser introducidos inicialmente durante la fase de construcción. También ocurren esfuerzos debido a circunstancias operacionales. El estudio de esfuerzos y deformaciones iniciales en el sistema de tuberías toma en cuenta el efecto producido por las cargas inherentes a la operación: presión en la condición más severa y diferencia de temperatura, lo que se traduce en esfuerzos inducidos por la restricción al movimiento de la tubería.

3.2.1 Deformación total de operación

La denominada deformación de operación toma en cuenta las cargas inherentes al proceso tales como las cargas debida a la presión interna y a cambios de temperatura. Esta se calcula usando la expresión:

$$\varepsilon_{op} = \varepsilon_p + \varepsilon_t \quad (3.2)$$

Donde, ε_{op} : Deformación total de operación, ε_p : Deformación longitudinal debido a la presión interna y ε_t : Deformación longitudinal debido a cambios de temperatura.

3.2.2 Esfuerzo circunferencial debido a la presión interna

La ecuación usada es una relación básica para una tubería sujeta a presión interna. Determina el efecto producido por la presión que ejercen las partículas del fluido sobre las paredes internas de la tubería. Además, toma en cuenta las propiedades del material y la geometría de la tubería. Ésta es comúnmente empleada en normas nacionales e internacionales:

$$S_p = \frac{P * D * \mu}{2 * t} \quad (3.3)$$

Donde, S_p : Esfuerzo circunferencial en la tubería debido a la presión interna (Pa), P : Presión interna máxima de operación de la tubería (Pa), D : Diámetro externo de la tubería (m), μ : Radio de Poisson (Generalmente tomado como 0.3 para acero) y t : Espesor nominal de la tubería (m).

3.2.3 Deformación longitudinal debido a la presión interna

Para realizar el cálculo de la deformación que sufre el material sometido a estudio, bajo la acción de una carga de presión, se emplea la expresión (3.1) tomando en cuenta el esfuerzo producido por la carga de presión.

3.2.4 Esfuerzo longitudinal debido a cambios de temperatura

La ecuación usada es una relación térmica básica para cualquier material sujeto a variación de temperatura. Determina el efecto de la dilatación térmica sobre un material determinado, el cual se origina por la propiedad del material a dilatarse o contraerse. Además, toma en cuenta las propiedades del material, la diferencia de temperatura existente y el coeficiente de dilatación térmico característico. Ésta es comúnmente empleada en normas nacionales e internacionales.

$$S_t = E * \alpha_t * (T_2 - T_1) \quad (3.4)$$

Donde, S_t : Esfuerzo longitudinal en la tubería debido a cambios de temperatura (Pa), E : Módulo de elasticidad (Pa), α_t : Coeficiente lineal de dilatación térmica del acero ($^{\circ}\text{C}^{-1}$), T_1 : Temperatura de la tubería al momento de la instalación ($^{\circ}\text{C}$) y T_2 : Temperatura de la tubería al momento de la operación ($^{\circ}\text{C}$).

3.2.5 Deformación longitudinal debido a cambios de temperatura

Para realizar el cálculo de la deformación que sufre el material sometido a estudio, bajo la acción de un cambio de temperatura, se emplea la expresión (3.1) tomando en cuenta el esfuerzo producido por la carga debida a cambios de temperatura.

3.3 Clasificación de los peligros sísmicos

Luego de determinar los esfuerzos y deformaciones operacionales, deben estimarse los efectos asociados a la actividad sísmica. En la siguiente sección se exponen los criterios de diseño para cada efecto asociado. Los riesgos sísmicos relacionados con la falla de una tubería asociados a un evento de naturaleza sísmica o a un terremoto, se clasifican como:

- Deformación permanente del suelo
- Flotabilidad debida a licuefacción
- Deformación permanente del suelo relacionado a una falla (cruce de fallas)
- Propagación de onda sísmica

3.4 Criterios de diseño para deformación permanente del suelo

La deformación permanente del suelo se refiere a un movimiento irrecuperable del terreno debido a una falla, deslizamientos o licuefacción inducida propagada lateralmente. En esta sección la atención se basa en deformación permanente del suelo atribuible a deslizamientos. La deformación longitudinal total se calcula sumando la deformación asociada al desplazamiento permanente del suelo a la deformación operacional para tracción, mientras que para compresión se calcula restando ambas según:

$$\varepsilon_{at} = \varepsilon_{op} + \varepsilon_a \quad (3.5)$$

$$\varepsilon_{at} = \varepsilon_{op} - \varepsilon_a \quad (3.6)$$

Donde, ε_{op} : Deformación total de operación y ε_a : Deformación longitudinal. En general, dos casos son usados para tuberías enterradas sometidas a deformación permanente del suelo longitudinal. Para el diseño se toma el menor valor de ambos casos:

- Deformación longitudinal. Caso I: La cantidad de desplazamiento del suelo $\delta^l_{diseño}$ es amplia y la deformación de la tubería es controlada por la longitud (L) de la zona PGD. Se calcula mediante la expresión:

$$\varepsilon_a = \frac{Tu * L}{2\pi * D * t * E} \left[1 + \frac{n}{1+r} \left(\frac{Tu * L}{2\pi * D * t * \sigma_y} \right)^r \right] \quad (3.7)$$

Donde, ε_a : Deformación axial máxima en la tubería, L: longitud de la zona de deformación permanente del suelo (m), σ_y : Esfuerzo de fluencia del material de la tubería (Pa), n, r: Parámetros de Ramberg-Osgood, E: Módulo de elasticidad (Pa), Tu: Fuerza axial máxima por unidad de longitud transmitida del suelo a la tubería (N/m), D: Diámetro externo de la tubería (m) y t: Espesor nominal de la tubería (m).

- Deformación longitudinal. Caso II: La longitud (L) de la zona PGD es extensa y la deformación de la tubería es controlada por la cantidad de desplazamiento del suelo $\delta^l_{diseño}$. Se calcula mediante la expresión:

$$\varepsilon_a = \frac{Tu * Le}{\pi * D * t * E} \left[1 + \frac{n}{1+r} \left(\frac{Tu * Le}{\pi * D * t * \sigma_y} \right)^r \right] \quad (3.8)$$

Donde, Le : Longitud sobre la cual actúa la fuerza de fricción Tu (m), puede ser evaluada a través:

$$\delta^l_{diseño} = \frac{Tu * Le^2}{\pi * D * t * E} \left[1 + \left(\frac{2}{2+r} \right) \left(\frac{n}{1+r} \right) \left(\frac{Tu * Le}{\pi * D * t * \sigma_y} \right)^r \right] \quad (3.9)$$

La extensión espacial de la zona de deformación permanente del suelo debe ser establecida de las investigaciones geotécnicas, por ejemplo: longitud (L), ancho (W) y desplazamiento longitudinal máximo del suelo (δ^l). En general, es difícil llegar a un sólo valor para la cantidad de desplazamiento del suelo y de extensión espacial de la zona de deformación permanente del suelo. Por lo tanto, se establece un rango por encima de las cantidades constituidas, y la verificación sísmica es llevada a cabo para los casos más críticos.

Al igual que la deformación permanente del suelo longitudinal, un rango de valores de la extensión espacial de la deformación se establece y la verificación sísmica es llevada a cabo para los casos más críticos. La deformación lateral total se calcula sumando la deformación asociada al desplazamiento permanente del suelo a la deformación operacional. En general, dos casos son usados para tuberías enterradas sometidas a deformación permanente del suelo transversal. Para el diseño se toma el menor valor de ambos casos:

- Deformación transversal. Caso I

$$\varepsilon_b = \pm \frac{\pi * D * \delta^l_{diseño}}{W^2} \quad (3.10)$$

- Deformación transversal. Caso II

$$\varepsilon_b = \pm \frac{Pu * W^2}{3\pi * E * t * D^2} \quad (3.11)$$

Donde, W: Ancho de la zona de deformación permanente del suelo (m), D: Diámetro externo de la tubería (m), t: Espesor nominal de la tubería (m) y E: Módulo de elasticidad (Pa). El desplazamiento del suelo de diseño necesario para el cálculo de la longitud efectiva donde actúa la fuerza de fricción es calculado como

$$\delta^l_{diseño} = \delta^l * Ip \quad (3.12)$$

Donde, δ^l : Desplazamiento longitudinal máximo del suelo (m) y Ip: Factor de importancia. Para determinar el factor de importancia es necesario establecer la clasificación del gasoducto y el efecto sísmico al que esta sometido. En la siguiente sección se muestra un procedimiento para obtener el factor de importancia. Éste procedimiento aplica para todos los efectos sísmicos asociados.

3.4.1 Factor de diseño para peligro sísmico

Es un factor de seguridad que se establece según los efectos de una deformación del suelo asociada a un evento sísmico. El diseño para peligro sísmico para varias clases de tuberías es calculado multiplicando el factor de importancia (Ip) dado en la tabla 3.2 por el desplazamiento del suelo debido a la acción de sacudida.

Tabla 3.2 Factor de importancia (Ip) para diferentes clases de tuberías

Clase de tubería	Propagación de onda	Cruce de fallas	Deformación permanente del suelo	Deslizamiento
I	1.50	2.30	1.50	2.60
II	1.25	1.50	1.35	1.60
III	1.00	1.00	1.00	1.00
IV	*	*	*	*

3.4.2 Clasificación de los gasoductos

Los gasoductos son clasificados en cuatro grupos según la presión de operación del sistema, el impacto que puedan generar al ambiente y la exigencia de su funcionamiento luego de un terremoto. En el caso del gasoducto del sistema Nor-Oriental de Gas se asocia en la clasificación de mayor importancia ya que transporta gas a presiones elevadas y su falla generaría un gran impacto ambiental. Estos son catalogados según:

- **Clase I:** Tuberías de agua muy esenciales requeridas en servicio luego de un terremoto diseñadas para permanecer operantes durante y después de éste. Tuberías de alta presión de crudo y gas requeridas para funcionar durante y luego de un evento sísmico. Tuberías que puedan causar una pérdida extensiva de vidas o un impacto ambiental considerable en caso de falla o daños.
- **Clase II:** Tuberías de agua críticas que prestan servicio a una gran comunidad que tienen un impacto económico importante o que representan un peligro sustancial para la vida humana y la propiedad en caso de falla. Tuberías de media presión de crudo y gas que sean vitales para instalaciones industriales, pero que su servicio se pueda interrumpir por un corto período de tiempo hasta que las reparaciones se realicen.

- **Clase III:** La mayoría de las tuberías de suministro de agua de uso ordinario. Tuberías de baja presión de crudo y gas.
- **Clase IV:** Tuberías de agua que tengan baja o muy poca importancia y efecto en la vida humana y la sociedad en caso de falla. Tuberías que no necesitan reparación luego de un sismo.

3.4.3 Fuerzas de resistencia máximas transmitidas del suelo a la tubería

Para realizar el análisis de los esfuerzos y deformaciones generados por la posible actividad sísmica, es de vital importancia conocer las características del suelo que permitan calcular las cargas y restricciones impuestas por el mismo sobre el sistema de tuberías. Las fuerzas de resistencia son las fuerzas que ejerce el suelo en oposición al desplazamiento de la tubería debido a un agente externo.

La fuerza longitudinal es la fuerza de resistencia del suelo en la dirección axial de la tubería, es decir, paralela al eje longitudinal del tubo. En el cálculo de las fuerzas axiales, deben ser usadas las propiedades representativas de relleno del suelo. Estas sólo pueden ser usadas cuando se demuestra que la extensión del movimiento del gasoducto respectivo al suelo de relleno circundante no está influenciada por el terreno fuera de la zanja del tubo. Sin embargo, las fuerzas del suelo deben generalmente basarse en las propiedades originarias del terreno. En la figura 3.2 se muestra una representación idealizada de la fuerza axial. La fuerza axial máxima del suelo por unidad de longitud del tubo que se puede transmitir es calculada como:

$$T_u = \pi * D * c * \alpha + \pi * D * H * \bar{\gamma} * \left(\frac{1 + K_o}{2} \right) * \tan \delta' \quad (3.13)$$

Donde, D: Diámetro externo de la tubería (m), c: Coeficiente de cohesión representativo del relleno del suelo (Pa), H: Profundidad del suelo por encima del

centro de la tubería (m), $\bar{\gamma}$: Unidad de peso efectivo del suelo (N/m^3), Ko : Coeficiente de presión del suelo (Según la relación de Jaky $Ko = 1 - \text{sen}\phi$ o se puede obtener usando la tabla 3.4), δ' : Ángulo de interfase de fricción entre la tubería y el suelo = $f * \phi$ ($^\circ$), ϕ : Ángulo interno de fricción del suelo ($^\circ$), f : Factor de fricción tomado de la tabla 3.3 y α : Factor de adhesión con c en (KPa/100), según:

$$\alpha = 0.608 - 0.123c - \frac{0.274}{c^2 + 1} + \frac{0.695}{c^3 + 1} \quad (3.14)$$

Tabla 3.3 Factor de fricción para varios materiales de recubrimiento de tuberías

Recubrimiento del tubo	f
Concreto	1.0
Alquitrán	0.9
Acero áspero	0.8
Acero suave	0.7
Resina epóxica	0.6
Polietileno	0.6

Tabla 3.4 Valores de coeficiente de presión para diferentes condiciones de suelo

Tipo de suelo	Ko
Suelo blando	0.5 – 0.6
Suelo denso	0.3 – 0.5
Arcilla (drenada)	0.5 – 0.6
Arcilla (no drenada)	0.8 – 1.1
Suelo sobre consolidado	1.0 – 1.3

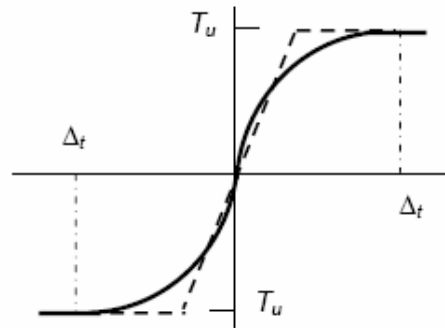


Figura 3.2 Representación idealizada de la fuerza axial

Donde, $\Delta_t = 3\text{mm}$ para arena densa (m), $\Delta_t = 5\text{mm}$ para arena suelta (m), $\Delta_t = 8\text{mm}$ para arcilla densa (m) y $\Delta_t = 10\text{mm}$ para arcilla suave (m). La fuerza lateral es la fuerza de resistencia del suelo en la dirección lateral de la tubería. Ésta actúa sobre las paredes externas de la tubería en el plano horizontal. La fuerza del suelo se basa en las propiedades originarias del terreno. En la figura 3.3 se observa una representación idealizada de la fuerza lateral. La fuerza lateral máxima del suelo por unidad de longitud del tubo que se puede transmitir es calculada como:

$$Pu = N_{ch} * c * D + N_{qh} * \bar{\gamma} * H * D \quad (3.15)$$

Donde, N_{ch} : Factor de capacidad de comportamiento horizontal para arcilla ($N_{ch}=0$ para $c=0$), N_{qh} : Factor de capacidad de comportamiento horizontal para suelo arenoso ($N_{qh}=0$ para $\phi=0$), c : Coeficiente de cohesión representativo del relleno del suelo (Pa), D : Diámetro externo de la tubería (m), $\bar{\gamma}$: Unidad de peso efectivo del suelo (N/m^3).

$$N_{ch} = a + bx + \frac{c}{(x+1)^2} + \frac{d}{(x+1)^3} \quad (3.16)$$

$$N_{qh} = a + bx + cx^2 + dx^3 + ex^4 \quad (3.17)$$

$$x = \frac{H}{D} \quad (3.18)$$

Donde, a, b, c, d, e: Coeficientes de capacidad de comportamiento horizontal según tabla 3.5 y H: Profundidad del suelo por encima del centro de la tubería (m)

Tabla 3.5 Coeficientes de capacidad de comportamiento horizontal

Factor	φ	a	b	c	d	E
N_{ch}	0	6.752	0.065	-11.063	7.119	---
N_{qh}	20	2.399	0.439	-0.03	1.059×10^{-3}	-1.754×10^{-5}
N_{qh}	25	3.332	0.839	-0.090	5.606×10^{-3}	-1.319×10^{-4}
N_{qh}	30	4.565	1.234	-0.089	4.275×10^{-3}	-9.159×10^{-5}
N_{qh}	35	6.816	2.019	-0.146	7.651×10^{-3}	-1.683×10^{-4}
N_{qh}	40	10.959	1.783	0.045	-5.425×10^{-3}	-1.153×10^{-4}

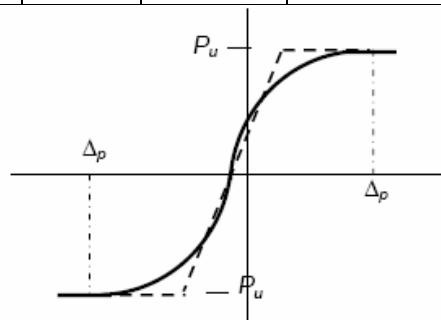


Figura 3.3 Representación idealizada de la fuerza lateral

Donde, Δ_p : Desplazamiento en la dirección lateral (m). La fuerza de alzamiento es la fuerza de resistencia del suelo en la dirección vertical de la tubería. Ésta actúa en la superficie externa de la tubería de abajo hacia arriba. En la figura 3.4 se observa una representación idealizada de la fuerza de alzamiento. La fuerza de

resistencia de alzamiento máxima por unidad de longitud de la tubería en la dirección vertical puede ser calculada:

$$Qu = N_{cv} * c * D + N_{qv} * \bar{\gamma} * H * D \quad (3.19)$$

Donde, N_{cv} : Factor de alzamiento vertical para arcilla (0 para $c=0$) y N_{qv} : Factor de alzamiento vertical para arena (0 para $\phi=0$).

$$N_{cv} = 2 \left(\frac{H}{D} \right) \leq 10 \quad \text{Para} \left(\frac{H}{D} \right) \leq 10 \quad (3.20)$$

$$N_{qv} = \left(\frac{\phi * H}{44 * D} \right) \leq N_q \quad (3.21)$$

La fuerza de soporte es la fuerza de resistencia del suelo en la dirección vertical de la tubería. Ésta actúa en la superficie externa de la tubería de arriba hacia abajo. En la figura 3.4 se observa una representación idealizada de la fuerza de soporte. La fuerza de soporte vertical máxima por unidad de longitud de la tubería transmitida puede ser calculada como:

$$Qd = N_c * c * D + N_q * \bar{\gamma} * H * D + N_\gamma * \gamma * \frac{D^2}{2} \quad (3.22)$$

Donde, N_c , N_q y N_γ son factores de capacidad calculados a partir:

$$N_c = [\cot(\phi + 0.001)] \left\{ \exp[\pi * \tan(\phi + 0.001)] \tan^2 \left(45 + \frac{\phi + 0.001}{2} \right) - 1 \right\} \quad (3.23)$$

$$N_q = \exp(\pi * \tan \phi) \tan^2 \left(45 + \frac{\phi}{2} \right) \quad (3.24)$$

$$N_{\gamma} = \exp(0.18\phi - 2.5) \quad (3.25)$$

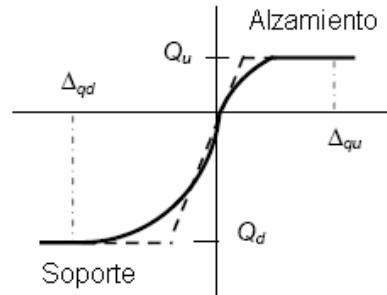


Figura 3.4 Representación idealizada de la fuerza de alzamiento y soporte

Donde, $\Delta_{qu} = 0.01 \cdot H$ a $0.02 \cdot H$ para arena de densa a suelta (m), $\Delta_{qu} = 0.1 \cdot H$ a $0.2 \cdot H$ para arcilla de densa a suave (m), $\Delta_{qd} = 0.1 \cdot D$ para suelos granulares (m) y $\Delta_{qd} = 0.2 \cdot D$ para suelos cohesivos (m)

3.5 Criterios de diseño para flotabilidad debida a licuefacción

Cuando la licuefacción del suelo alrededor de la tubería ocurre, fuerzas de flotabilidad son ejercidas sobre el gasoducto. Estas deben ser resistidas por los anclajes y las fuerzas de resistencia impuestas por el terreno licuado cuando el gasoducto empieza a elevarse. El esfuerzo, la deformación y la fuerza de levantamiento neta por unidad de longitud, de tubería sujeta a este tipo de efecto se calculan mediante las expresiones:

$$\sigma_{bf} = \frac{F_b \cdot L_l^2}{10 \cdot Z} \quad (3.26)$$

$$\varepsilon_b = \pm \frac{F_b \cdot L_l^2}{3\pi \cdot E \cdot t \cdot D^2} \quad (3.27)$$

$$F_b = \frac{\pi * D^2}{4} (\gamma_{sat} - \gamma_{content}) - \pi * D * t * \gamma_{tuberia} \quad (3.28)$$

Donde, D: Diámetro externo de la tubería (m), t: Espesor nominal de la tubería (m), γ_{sat} : Peso específico del suelo saturado (N/m³), $\gamma_{content}$: Peso específico del fluido contenido (N/m³), $\gamma_{tuberia}$: Peso específico de la tubería (N/m³), Fb: Fuerza de flotabilidad actuando en la tubería (N/m) y Z: Módulo de sección de la tubería (m³).

3.6 Criterios de diseño para deformación abrupta del suelo (cruce de fallas)

Una falla es una discontinuidad que se forma en las rocas superficiales de la Tierra (hasta unos 200 km de profundidad) por fractura, cuando las fuerzas tectónicas superan la resistencia de las rocas. El movimiento de una falla es un fenómeno relacionado con la ruptura del suelo producto del movimiento diferencial entre placas tectónicas. El siguiente criterio de diseño se debe seguir para diseñar el gasoducto para un nivel esperado del desplazamiento de la falla. El cálculo del desplazamiento esperado de la falla requiere análisis especializado y riguroso. La máxima deformación que se puede producir en la tubería cuando ésta cruce una falla puede ser aproximada como:

$$\varepsilon = 2 \left[\frac{\delta_{f-ax}}{2 * La} + \frac{1}{2} \left(\frac{\delta_{f-lat}}{2 * La} \right)^2 \right] \quad (3.29)$$

Donde, La: Longitud efectiva de la tubería en la zona de falla. Cualquier punto de anclaje en la configuración del sistema de tuberías debe ser considerado como el punto de anclaje actual y la longitud efectiva desde este punto hasta la línea de falla debe ser tomada como la longitud efectiva de la tubería en la zona de falla. Sin embargo, cuando no existen restricciones en la tubería cerca de la zona de la falla, se utiliza la expresión 3.43. Se toma la menor longitud efectiva de la tubería en la zona

de falla. La deformación por cruces de fallas total se calcula sumando la deformación asociada al desplazamiento abrupto del suelo a la deformación operacional.

$$La = \frac{E_i * \varepsilon_y * \pi * D * t}{Tu} \quad (3.30)$$

Donde, Tu : Fuerza de fricción máxima actuante en la dirección axial de la tubería (N/m), ε_y : Deformación de fluencia del material, E_i : Módulo de elasticidad del material antes de la fluencia (Pa), D : Diámetro externo de la tubería (m) y t : Espesor nominal de la tubería (m)

3.6.1 Desplazamiento para fallas laterales

Es un tipo de falla que se origina por un movimiento de basculamiento de los bloques que giran alrededor de un punto fijo. Cuando las fallas son dextrales, el movimiento relativo entre las placas es horario, sin embargo, cuando son siniestrales el movimiento relativo entre las placas es antihorario. Para las fallas laterales, el movimiento longitudinal y transverso de la falla transmitido a la tubería se calcula como:

$$\delta_{f-ax} = \delta_{fs} \cos \beta \quad (3.31)$$

$$\delta_{f-lat} = \delta_{fs} \operatorname{sen} \beta \quad (3.32)$$

Donde, δ_{fs} : Desplazamiento de la falla lateral dextral (m) y β : Ángulo entre la tubería y la línea de falla (°).

3.6.2 Desplazamiento para fallas normales e inversas

Son tipos de fallas que se generan por tensión horizontal. El movimiento es predominantemente vertical respecto al plano de falla. Para las fallas normales e

inversas, el movimiento longitudinal, transverso y vertical de la falla transmitido a la tubería se calcula como:

$$\delta_{f-ax} = \delta_{fn} \cos \psi * \operatorname{sen} \beta \quad (3.33)$$

$$\delta_{f-lat} = \delta_{fn} \cos \psi * \cos \beta \quad (3.34)$$

$$\delta_{f-ver} = \delta_{fn} \operatorname{sen} \psi \quad (3.35)$$

Donde, δ_{fn} : Desplazamiento de la falla normal o inversa (m) y ψ : Ángulo de buzamiento ($^{\circ}$). Para fallas oblicuas, los desplazamientos laterales dextrales y normales (o inversos) pueden ser añadidos algebraicamente en la dirección axial, transversa y vertical del eje de la tubería. El desplazamiento del suelo de diseño para deformación abrupta del suelo (cruces de fallas) es calculado como:

$$\delta_{diseño}^f = \delta^f * I_p \quad (3.36)$$

Donde, δ^f : Desplazamiento de la falla (m) y I_p : Factor de importancia. Ante la ausencia de una ecuación que permita determinar este desplazamiento, se utilizan las relaciones de Wells y Coppersmith para los tipos de falla como sigue:

Falla lateral dextral:

$$\log \delta_{fs} = -6.32 + 0.9M \quad (3.37)$$

Falla normal:

$$\log \delta_{fn} = -4.45 + 0.63M \quad (3.38)$$

Falla inversa:

$$\log \delta_{fr} = -0.74 + 0.08M \quad (3.39)$$

Donde, δ : Desplazamiento de la falla (m) y M: Magnitud de momento del evento sísmico.

3.7 Criterios de diseño para propagación de onda sísmica

Una onda es una propagación de una perturbación de alguna propiedad de un medio que se transmite a través del espacio transportando energía. Las ondas están caracterizadas por crestas y valles, y usualmente son categorizadas como longitudinales o transversales. El medio perturbado puede ser de naturaleza diversa. La respuesta del sistema de tuberías debida a los efectos de propagación de onda sísmica generalmente es descrita en términos de deformación longitudinal. Las deformaciones flexionantes debidas a curvaturas son despreciadas debido a que resultan muy pequeñas. La deformación por propagación de onda sísmica total se calcula sumando la deformación asociada al desplazamiento del suelo a la deformación operacional. La máxima deformación axial que se puede producir en la tubería debido a la propagación de onda puede ser aproximada como:

$$\varepsilon_a = \frac{V_g}{\alpha_\varepsilon * C} \quad (3.40)$$

Donde, C: Velocidad de propagación de la onda sísmica (km/s) (para ondas S C=2.0 km/s puede ser considerado conservadoramente, para ondas R C=0.5 km/s puede ser considerado conservadoramente), α_ε : Coeficiente de deformación del suelo (para ondas S $\alpha_\varepsilon=2.0$, para ondas R $\alpha_\varepsilon=1.0$).

3.7.1 Velocidad máxima de diseño del suelo

La velocidad máxima del suelo es una magnitud vectorial que indica como varía la posición del terreno en función del tiempo. La velocidad máxima de diseño del suelo en el sitio de estudio puede ser determinada aplicando la siguiente relación:

$$V_g = PGV * I_p \quad (3.41)$$

Donde, PGV: Velocidad máxima del suelo (m/s) e I_p : Factor de importancia

3.7.2 Aceleración máxima del suelo

La aceleración máxima del suelo es una magnitud vectorial que indica como varía la velocidad del terreno en función del tiempo. La aceleración máxima del suelo en el lugar de ocurrencia del evento sísmico está dada por la expresión:

$$PGA_{terreno} = PGA * I_g \quad (3.42)$$

Donde, PGA: Aceleración máxima del suelo e I_g : Factor de amplificación del suelo.

3.7.3 Aceleración pico del terreno

Es la aceleración del terreno de mayor magnitud que se puede presentar en determinada región geográfica debido a una actividad sísmica. La tabla 3.6 muestra una relación entre la magnitud estimada del sismo, el tipo de suelo y la distancia entre la fuente y el sitio de estudio usado para estimar la velocidad pico del terreno cuando sólo se conoce la aceleración pico del mismo.

Tabla 3.6 Relación entre velocidad pico del terreno y aceleración pico del terreno

Magnitud del momento (Mw)		Relación entre velocidad pico del terreno (cm/s) y aceleración pico del terreno (m/s ²)		
		Distancia de la fuente al sitio		
		0-20 (Km)	20-50 (Km)	50-100 (Km)
Roca	6,5	66	76	86
	7,5	97	109	97

	8,5	127	140	152
Suelo Rígido	6,5	94	102	109
	7,5	140	127	155
	8,5	180	188	193
Suelo Suave	6,5	140	132	142
	7,5	208	165	201
	8,5	269	244	251

3.7.4 Factor de amplificación del suelo

Es un factor de corrección denominado factor de amplificación del suelo (I_g) dado en la tabla 3.7. Éste es usado para corregir la aceleración máxima del suelo y obtener el movimiento del suelo en la superficie desde la base del nivel de roca. En general, la amplificación es mayor en suelos suaves que en suelos rígidos. Pero, un aumento en la intensidad de sacudida de la tierra, incrementa la no linealidad del esfuerzo-deformación del suelo, lo que reduce la amplificación.

Tabla 3.7 Factor de amplificación del suelo (I_g) para aceleración pico del terreno

Clase de suelo	Aceleración pico del terreno en el sitio (PGA) / Aceleración pico del terreno en la base del nivel de roca ($PGAr$)				
	$PGAr \leq 0.1g$	$PGAr = 0.2g$	$PGAr = 0.3g$	$PGAr = 0.4g$	$PGAr \geq 0.5g$
A	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
B	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
C	1.2	1.2	1.1	1.0	1.0
D	1.6	1.4	1.2	1.1	1.0
E	2.5	1.7	1.2	0.9	0.9
F	*	*	*	*	*

* El suelo en la zona requiere investigación específica

3.7.5 Clasificación del suelo

La clasificación del suelo depende de sus características físicas y propiedades geomorfológicas. La caracterización de estos debe realizarse en la zona específica ya que los suelos no son isotrópicos, es decir, no mantienen sus propiedades en diferentes puntos. Estos son clasificados en la tabla 3.8 según el tipo de suelo y sus características correspondientes. Esta clasificación es usada para determinar el factor de amplificación del suelo. Cuando no se encuentre disponible información suficiente de las características del suelo, la clase D debe ser usada.

Tabla 3.8 Clasificación del suelo en la zona

Clase de suelo	Tipo de suelo	Velocidad de la onda de corte (V_s), m/s	Resistencia de corte no drenada (S_u), kN/m ²	Resistencia a la penetración estándar (N)
<i>A</i>	Roca Dura	$V_s > 1500$	---	---
<i>B</i>	Roca	$760 < V_s \leq 1500$	---	---
<i>C</i>	Suelo muy denso y roca suave	$360 < V_s \leq 760$	$S_u \geq 98$	$N > 50$
<i>D</i>	Suelo denso/rígido	$180 < V_s \leq 360$	$49 \leq S_u \leq 98$	$15 \leq N \leq 50$
<i>E</i>	Suelo suelto/blando	$V_s < 180$	$S_u < 49$	$N < 15$
	Suelo con $PI > 10$ y contenido de humedad natural $\geq 40\%$	---	$S_u < 24$	---
<i>F</i>	Suelo vulnerable a una falla potencial o colapso bajo una carga sísmica	---	---	---

3.8 Límites permisibles

Los límites permisibles de deformaciones para tuberías enterradas están dados en la tabla 3.9. Estos son sólo aplicables a los tubos fabricados conforme a la norma

API, para otros tipos de tubos los límites permisibles deben ser suministrados por el fabricante.

Tabla 3.9 Límites permisibles de deformación para cargas sísmicas

Componente de deformación		Categoría de tubería	Deformación permitida	
			Tensión	Compresión
Tuberías continuas de transporte de crudo y gas	Para DPS $\xi_{oper} + \xi_{DPS}$	Tubo de hierro fundido dúctil	2%	Para DPS ξ_{cr-c}
		Tubo de acero	3%	
		Tubo de polietileno	20%	
	Para Propagación de onda $\xi_{oper} + \xi_w$	Accesorios	1%	Para Propagación de onda 50%-100% ξ_{cr-c}

CAPÍTULO IV

ANALISIS DE LA INTEGRIDAD MECANICA APLICANDO ANALISIS POR ELEMENTOS FINITOS

4.1 Introducción

Al simular las condiciones del gasoducto SINORGAS usando la técnica de análisis por elementos finitos se creó un modelo tridimensional del sistema utilizando el software de flexibilidad CAESAR II versión 4.4. Se ingresaron las características del sistema de tuberías al programa tomando en cuenta los cambios en las pendientes en el perfil de la tubería y los cambios de dirección en el plano horizontal configurando los nodos en los sectores representativos del modelo. Se asumió un tramo del gasoducto superior a la longitud de la deformación con la finalidad de valorar las consecuencias de las cargas sobre una sección característica aplicando un análisis de sensibilidad. Se realizó un refinamiento de la malla al ingresar las condiciones del suelo y convertir el modelo en enterrado, dividiendo los elementos anteriormente generados en elementos de menor magnitud para la asignación de los parámetros de resistencia del suelo.

Luego, se ingresaron en el software los espectros de respuesta de aceleraciones del suelo en función del período estructural, definiendo los porcentajes de carga en cada eje coordenado. Se generaron los reportes estudiando los casos en donde se aplicaban las cargas de peso, presión, temperatura de diseño del sistema y las cargas dinámicas en conjunto para analizar el caso más desfavorable de exigencia. Se compararon los parámetros de diseño resultantes arrojados por software con los límites permitidos por la norma que rige el sistema en estudio (ASME B31.8) para determinar los cruces de fallas donde no se cumplía con éstos o su grado de proximidad.

El programa de simulación basado en el análisis de esfuerzos utilizado es el CAESAR II versión 4.4. En éste se modela el sistema de tuberías como confinado con resortes en cada eje coordinado que representan el comportamiento del suelo. El método de los elementos finitos de modelado y análisis de sistemas de tuberías permite consideración explícita del comportamiento no lineal de la interacción entre el suelo y la tubería y propiedades no lineales de ambos: suelo y tubería. Este software usa el método de los elementos finitos para originar el sistema de ecuaciones del modelo de tuberías descrito:

$$F = K.X \quad (4.1)$$

Donde, F: vector de cargas para un caso en particular (N), K: matriz de rigidez global para el elemento (N/m) y X: vector de desplazamiento y rotaciones (m). Una vez que se resuelve “X” se multiplica por la matriz de rigidez del elemento individual “K” para obtener las fuerzas y momentos que actúan sobre el elemento en un caso de carga específico. Una vez que éstos son conocidos, las ecuaciones específicas de la norma son aplicadas para determinar los esfuerzos y cualquier otro parámetro de diseño. Esta secuencia se realiza para cada trabajo. Es trabajo del proyectista definir las cargas, configurar los casos de carga y definir cualquier otro dato específico contenido en las normas. El software usa las siguientes ecuaciones para comparar los límites de esfuerzo:

$$Se + Sl < Syield \quad (4.2)$$

$$Sl = Sp + Sb < 0.75Syield \quad (4.3)$$

$$Se = \sqrt{Sb^2 + 4St^2} < 0.72Syield \quad (4.4)$$

Donde, Syield: Esfuerzo de fluencia (Pa), Se: Esfuerzo de expansión resultante (Pa), Sl: Esfuerzo de presión resultante (Pa), Sp: Esfuerzo nominal debido

a presión interna (Pa), Sb: Esfuerzo de doblaje nominal de la tubería (Pa) y St: Esfuerzo longitudinal debido a expansión térmica (Pa).

4.2 Capacidades dinámicas en el CAESAR II

Las capacidades dinámicas encontradas en el programa incluyen cálculos de frecuencias naturales, análisis armónico, análisis en espectros de respuesta y análisis historia-tiempo. Este posee módulos dinámicos, los cuales pueden generar diferentes tipos de cargas dinámicas. Un ejemplo es el procesador que transforma cargas en función del tiempo en espectros de respuesta de fuerzas. Esta habilidad define los diferentes tipos de efectos dinámicos, mejora la exactitud del modelado dinámico y hace los métodos apropiados para un rango más amplio de problemas dinámicos. La información de frecuencia natural indica la tendencia de respuesta de un sistema de tuberías ante cargas dinámicas.

Uno de los tipos de análisis disponibles en el CAESAR II es el método de espectro de respuesta. Éste permite que un evento tipo impulso sea caracterizado por una respuesta en función de un espectro en frecuencia. Cada modo de vibración del sistema de tuberías está relacionado a un espectro de respuesta. Estas respuestas modales son sumadas en conjunto para producir la respuesta total del sistema. Los esfuerzos para esos análisis, añadidos con los esfuerzos sostenidos, deben ser comparados con los esfuerzos ocasionales permisibles definidos por el código que rige el sistema de tuberías. El análisis espectral puede ser usado en un amplio rango de aplicaciones. El movimiento del suelo asociado a un evento sísmico proporciona espectros de respuesta para desplazamientos, velocidades y aceleraciones. La suposición es que todos los soportes se desplazan con un movimiento definido del suelo y el sistema de tuberías “alcanza” a los soportes; es este efecto inercial que carga el sistema. El espectro de choque el cual define el movimiento del suelo puede variar entre las tres direcciones globales y puede cambiar para grupos de soportes.

4.3 Pasos importantes en el análisis dinámico

Desarrollar un análisis dinámico en el CAESAR II comprende cuatro pasos básicos:

- Especificar las cargas
- Modificar el modelo de masa y rigidez
- Configurar los parámetros que controlan el análisis
- Iniciar y verificar los errores del análisis

Excepto el inicio del análisis, estos pasos pueden realizarse en cualquier orden. Debido a la cantidad de datos que debe ser especificada, es necesario establecer un criterio específico para definir la entrada de datos. Las configuraciones de fuerzas deben ser construidas para espectros de respuesta, para combinarlas con otros datos de manera que se puedan construir los casos de carga a ser analizados. Los casos de carga adicionales deben ser construidos combinando los resultados de choques con los resultados estáticos para verificar el acatamiento del código bajo esfuerzos ocasionales.

Para el análisis dinámico, el software transforma cada elemento de tubería de un elemento de viga continua entre dos nodos a un elemento rígido entre dos masas. La rigidez adicional es añadida a la masa para modelar anclajes, restricciones y otros soportes en el modelo del análisis estático. Las masas asignadas a cada nodo son usadas solamente como inercias traslacionales. Los momentos rotacionales de inercia son ignorados en el modelo de masa dinámico. (Su inclusión causaría un incremento en el tiempo de solución sin el correspondiente mejoramiento en la exactitud del análisis)

4.4 Espectros de respuesta en el CAESAR II

Las cargas debidas a la acción de un terremoto son establecidas definiendo uno o más espectros de respuesta y aplicándolos en una dirección específica sobre una sección de todo el sistema de tuberías. Una tabla de valores del espectro de respuesta puede ser ingresada directamente para su uso en el programa, por eso se debe definir el espectro describiendo el tipo de datos en éste (Multiplicador de fuerza, aceleración, velocidad o desplazamiento en función de periodo o frecuencia), así como el método de interpolación para cada eje coordenado.

Los casos de carga consisten en espectros aplicados simultáneamente. Cada espectro es asignado con una dirección y un factor. Para terremotos, la dirección define la orientación de la carga uniforme inercial. Usualmente éstos poseen componentes en tres direcciones: X, Y, y Z (Generalmente existe un 33% de reducción en la magnitud del sismo en la dirección Y). El factor es usado para modificar la magnitud del espectro, es decir, representa el porcentaje de carga del espectro definido. Los tipos de esfuerzos a ser analizados pueden ser asignados a los casos de carga del espectro específico.

Para este tipo de análisis, las matrices de rigidez de los elementos y el sistema son ensambladas y los vectores de carga son creados cuando sea apropiado. Además, la matriz de masa del sistema es generada. El software calcula las frecuencias naturales y los modos de vibración. Luego que la última frecuencia es calculada, el CAESAR II usa el verificador de secuencia para confirmar que ningún modo fuese pasado por alto. Seguido de la realización de los cálculos, se procede a manipular el procesador de salida dinámico del programa. En éste, las frecuencias naturales y las formas de los modos de vibración pueden ser evaluadas numericamente o mediante una animación de la respuesta del sistema de tuberías.

4.5 Esfuerzos según código ASME B31.8

El código de “*Sistemas de tubería para el transporte y distribución de gas*” recomienda el cálculo de esfuerzos debido a presión, cambio de temperatura, doblaje nominal, etc., para determinar el módulo de los esfuerzos resultantes. En esta norma se utiliza las siguientes expresiones para el cálculo de los esfuerzos particulares en un sistema de tuberías.

4.5.1 Esfuerzos longitudinales resultantes

Los esfuerzos longitudinales resultantes en tubería restringida son el resultado de la suma algebraica de los esfuerzos individuales, es decir, los esfuerzos generados por presión, cambios de temperatura, doblaje nominal y cargas externas. El límite para este esfuerzo depende principalmente de las características del material. Los esfuerzos originados por cargas que no ocurren simultáneamente no será necesario considerarlos como aditivos al calcular los esfuerzos combinados resultantes.

$$Sl = Sp + St + Sx + Sb < 0.95ST \quad (4.5)$$

Donde, S: Esfuerzo de fluencia mínimo especificado (Pa) y T: Factor de corrección de temperatura. Frecuentemente están presentes esfuerzos residuales de la construcción, por ejemplo, curvaturas en tuberías enterradas donde ocurren espacios o asentamientos diferenciales. Estos esfuerzos usualmente son difíciles de evaluar con exactitud. Éstos pueden ser descartados en la mayoría de los casos ya que su influencia no es representativa.

4.5.2 Esfuerzos combinados

Los esfuerzos combinados se estudian cuando la estructura está sometida a cargas en varios ejes coordenados, es decir, cuando los esfuerzos no sólo están

orientados en una dirección. El estado de esfuerzos combinados de la tubería en condiciones de operación es evaluado usando el cálculo A o B indicado:

$$(A) |Sh - Sl| < KST \quad (4.6)$$

$$(B) [Sl^2 - Sl * Sh + Sh^2]^{1/2} < KST \quad (4.7)$$

Donde, S: Esfuerzo de fluencia mínimo especificado (Pa), T: Factor de corrección de temperatura de acuerdo a la tabla 3.11, K: Factor de carga, K no excederá 0.90 para cargas de larga duración, K no será mayor que 1.0 para cargas ocasionales no periódicas de corta duración

4.5.3 Esfuerzo tangencial

El esfuerzo tangencial es el esfuerzo en una tubería con espesor de pared t, que actúa de forma circunferencial en un plano perpendicular al eje longitudinal a la tubería producido por la presión P del fluido en la tubería de diámetro D y se determina por la fórmula de Barlow:

$$Sh = \frac{P * D}{2 * t} \quad (4.8)$$

Donde, Sh: Esfuerzo tangencial (Pa), P: Presión de diseño (Pa), D: Diámetro de la tubería (m) y t: Espesor de la tubería (m)

4.5.4 Esfuerzo nominal debido a presión interna

El esfuerzo nominal debido a presión interna para tuberías restringidas (enterradas) es una fracción del esfuerzo tangencial generado por una carga de presión. Se calcula usando la siguiente expresión:

$$Sp = 0.3Sh \quad (4.9)$$

Donde, S_p : Esfuerzo nominal debido a presión interna (Pa) y S_h : Esfuerzo tangencial (Pa).

4.5.5 Esfuerzo longitudinal debido a expansión térmica

Es el esfuerzo resultante por la deformación que sufre la tubería debido a cambios de temperatura. El esfuerzo longitudinal debido a expansión térmica de operación en tuberías restringidas se calcula usando la expresión (3.4).

4.5.6 Esfuerzo de doblaje nominal de la tubería

Es el esfuerzo generado por el proceso de instalación y depende principalmente de la magnitud del momento ejercido sobre la tubería y la configuración geométrica de esta. El esfuerzo de doblaje nominal en tuberías rectas o curvas de radios grandes debido a peso u otras cargas externas es:

$$S_b = \frac{M}{Z} \quad (4.10)$$

Donde, S_b : Esfuerzo de doblaje nominal de la tubería (Pa), M : Momento de flexión en la sección de corte de la tubería (N*m) y Z : Módulo de sección de la tubería (m³).

4.5.7 Esfuerzo debido a cargas axiales

Es el esfuerzo resultante de la aplicación de una carga de origen externo sobre la tubería. El esfuerzo debido a cargas axiales diferentes a expansión térmica y presión se deduce de la siguiente expresión:

$$S_x = \frac{R}{A} \quad (4.11)$$

Donde, S_x : Esfuerzo axial (Pa), R : Componente axial de una fuerza externa (N) y A : Área de la sección transversal de la tubería (m²)

CAPÍTULO V

RESULTADOS

En este capítulo se analizan detalladamente los resultados de los esfuerzos y las deformaciones resultantes de los efectos de la actividad sísmica sobre el gasoducto SINORGAS aplicando la metodología recomendada y la técnica de análisis por elementos finitos usando el software comercial CAESAR II con la finalidad de evaluar la seguridad estructural del sistema.

5.1 Discusión de resultados

5.1.1 Esfuerzos resultantes aplicando la metodología recomendada

Se evaluaron las consecuencias de los efectos asociados a un evento sísmico: deformación permanente del suelo, flotabilidad de la tubería debida a licuefacción del suelo, deformación abrupta del suelo (cruce de fallas) y propagación de onda sísmica siguiendo la metodología recomendada referenciada en la bibliografía para los doce cruces de fallas en la plataforma terrestre del gasoducto del sistema Nor-Oriental de Gas. Para cada cruce se evaluaron la ocurrencia de los fenómenos independientemente. En la tabla 5.1 se muestran los esfuerzos resultantes producto de las componentes longitudinales y transversales para los espesores tomados en consideración.

Los esfuerzos son el resultado de una carga o fuerza aplicada sobre una superficie de un elemento estructural. Dependen del tipo de carga, de la forma en que esta sea aplicada sobre el sistema, del material del elemento y de las características geométricas de éste. Es necesaria su evaluación detallada para determinar el grado de resistencia que posee un sistema. En la evaluación del diseño mecánico del gasoducto SINORGAS en los cruces de fallas geológicas los esfuerzos resultantes son el producto del análisis operacional y sísmico en conjunto, caracterizado como el caso

más crítico de carga. Se observa el porcentaje de esfuerzo generado en comparación con el admisible para determinar el grado de integridad del sistema y poder establecer la capacidad del material a resistir estas cargas.

Tabla 5.1 Esfuerzos resultantes del análisis sísmico en el gasoducto SINORGAS

Cruce	$\sigma_{(t=0.688in)}$ [MPa]	%Esfuerzo	$\sigma_{(t=0.562in)}$ [MPa]	%Esfuerzo
CFBM-1	234.77	52.40	281.16	62.76
CFBM-2	234.38	52.32	280.84	62.69
CFBM-3	245.51	54.80	290.20	64.78
CFBM-4	245.51	54.80	290.20	64.78
CFBM-5	234.79	52.41	281.19	62.76
CFBM-6	234.79	52.41	281.19	62.76
CFBM-7	246.48	55.02	294.39	65.71
CFBM-8 ^[*]	228.21	63.75	305.92	85.45
CFGS-1	304.68	68.01	365.00	81.47
CFGS-2	246.10	54.93	292.77	65.35
CFGS-3	241.28	53.86	288.74	64.45
CFGS-4	241.28	53.86	288.74	64.45

[*] En este cruce de falla se evaluaron los espesores $t=0.500$ in y $t=0.375$ in, respectivamente.

En líneas generales, se evidencia que para el menor espesor los esfuerzos resultantes son mayores ya que la tubería opone más resistencia al movimiento al poseer mayor integridad estructural. Para sistemas de tuberías existe una relación inversamente proporcional entre los esfuerzos y las características geométricas del tubo (espesor), lo que se ajusta a los resultados obtenidos del estudio de amenaza sísmica.

En la tabla 5.1 se observa que desde CFBM-1 hasta CFBM-6 los resultados de esfuerzos resultantes son muy similares debido a que estos cruces son ramificaciones de la falla principal de Urica. Estas se encuentran ubicadas relativamente cerca en el primer tramo del gasoducto Barbacoa-Margarita entre las estaciones de válvulas Barbacoa (BM-10) y Provisor (BM-11); presentan iguales condiciones operacionales y similares características sísmicas. Estos cruces denominados como fallas menores muestran resultados muy similares debido a las características de la falla: Aceleración pico del terreno, dimensiones de la zona de deformación, magnitud del sismo esperada, características del plano de la falla, entre otros.

El siguiente cruce de falla correspondiente al gasoducto Barbacoa-Margarita es San Francisco (CFBM-7). Al igual que en los cruces de fallas pertenecientes al sistema de fallas de Urica, el gasoducto cumple con los límites de esfuerzo establecidos en la norma ASME B31.8 para sistemas de tuberías bajo cargas ocasionales, presentando una resistencia estructural adecuada, basado en las fracciones obtenidas del esfuerzo admisible. Para el cruce de falla Laguna Grande (CFBM-8) se compararon los espesores: $t=0.01270$ m (0.500 in) y $t=0.00952$ m (0.375 in) ya que éstos son los espesores nominales disponibles para tuberías API 5L X52 de 0.4064 m (16 in) de diámetro. Los esfuerzos resultantes generados cumplieron con los límites establecidos con los documentos de referencia. Sin embargo, al estudiar el menor espesor se nota el incremento en el nivel de esfuerzo debido a la disminución de las características geométricas (Diámetro y espesor) y el decremento de la calidad del material utilizado.

El primer cruce de falla del gasoducto Guiria-San Antonio es El Pilar (CFGS-1). En la tabla 5.1 se observa este cruce donde se presenta el mayor índice de esfuerzo. Sin embargo, aunque éste presente un porcentaje elevado de esfuerzo se encuentra por debajo de los límites establecidos para ambos espesores. Cabe destacar que para todos los casos estudiados los efectos de una posible actividad sísmica

tienen un menor impacto sobre los mayores espesores analizados, por lo tanto, su comportamiento ante un evento de tal magnitud resulta más satisfactorio.

Los siguientes cruces de fallas pertenecientes al gasoducto Guiria-San Antonio: Los Bajos (CFGS-2), Cola de caballo W (CFGS-3) y Cola de caballo centro (CFGS-4) poseen la misma tendencia que los cruces anteriores: cumplen los límites definidos para ambos espesores. Para estos dos últimos cruces, los resultados son muy similares ya que cada uno de estos es una ramificación de la falla Cola de caballo. En síntesis, los esfuerzos generados por una posible actividad de carácter sísmica se encuentran por debajo de los límites permisibles establecidos en los códigos de referencia, por lo tanto la utilización de ambos espesores es posible ya que garantiza la resistencia mecánica e integridad estructural del gasoducto SINORGAS.

5.1.2 Deformaciones resultantes aplicando la metodología recomendada

En la tabla 5.2 se muestran los resultados de las deformaciones para los cruces de fallas del gasoducto del Sistema Nor-Oriental de Gas bajo la acción de la deformación permanente del suelo. Éstas son producto del desplazamiento de la tubería, como resultado del movimiento gradual esperado del suelo debido a la interacción entre las placas Suramericana y del Caribe. Estos desplazamientos son independientes de un evento sísmico, es decir, pueden ocurrir sin la necesidad de que suceda un sismo.

Tabla 5.2 Deformaciones por desplazamientos permanentes del suelo resultantes del análisis sísmico en el gasoducto SINORGAS

Cruce	$\epsilon_{\text{longitudinal}}(\%)$		$\epsilon_{\text{transversal}}(\%)$	
	t=0.688 in	t=0.562 in	t=0.688 in	t=0.562 in
CFBM-1	0.103	0.120	0.066	0.074
CFBM-2	0.103	0.120	0.063	0.070

CFBM-3	0.103	0.120	0.095	0.103
CFBM-4	0.103	0.120	0.095	0.103
CFBM-5	0.103	0.120	0.066	0.074
CFBM-6	0.103	0.120	0.066	0.074
CFBM-7	0.109	0.127	0.077	0.084
CFBM-8 ^[*]	0.096	0.119	0.062	0.069
CFGs-1	0.141	0.167	0.070	0.077
CFGs-2	0.104	0.124	0.085	0.093
CFGs-3	0.106	0.124	0.070	0.077
CFGs-4	0.106	0.124	0.070	0.077

Los límites permisibles de estas deformaciones fueron definidos usando el manual de especificaciones de fabricación de tuberías API y los recomendados por las guías de diseño especializadas en análisis sísmico de tuberías de acero en gasoductos enterrados. Al igual que los esfuerzos resultantes, para los primeros seis cruces de fallas pertenecientes al gasoducto Barbacoa-Margarita, las deformaciones, tanto longitudinales como transversales, resultaron similares por formar parte de la falla principal de Urica. En la tabla 5.2 se muestra que las deformaciones longitudinales presentan el mismo valor ya que la fuerza de restricción axial que se opone el movimiento resultó ser la misma. Por el contrario, al analizar las deformaciones transversales, se nota como existen variaciones debido al cambio en la restricción transversal, producto de las características del suelo en cada zona sometida a estudio. Cabe destacar que las fluctuaciones varían en un rango mínimo de porcentaje. En estas se cumplen con los límites admisibles, lo que se traduce en la capacidad de resistir el movimiento relacionado con el desplazamiento de los bloques tectónicos.

El cruce de falla San Francisco (CFBM-7) perteneciente al gasoducto Barbacoa-Margarita ubicado entre las estaciones de válvulas Mochima (BM-13) y Cumaná (BM-14) presenta un índice de deformación aceptable tanto longitudinal como transversal para ambos espesores sometidos a estudio. Finalmente, el cruce de Laguna Grande (CFBM-8), el cual presenta diferentes características estructurales por ser parte de una ramificación del gasoducto demuestra diferentes niveles de deformación en comparación con los demás cruces por someter a estudio diferentes espesores. No obstante, al igual que en los esfuerzos resultantes, el gasoducto tolera este tipo de carga bajo las condiciones de diseño establecidas inicialmente

Al estudiar los cruces de fallas del gasoducto Guiria-San Antonio se nota como el cruce de El Pilar exhibe los mayores índices de deformación ya que en esta falla se manifiesta con mayor intensidad la interacción entre las placas Suramericana y del Caribe. Ahora bien, para los últimos cruces de este gasoducto: Los Bajos (CFGS-2), Cola de caballo W (CFGS-3) y Cola de caballo centro (CFGS-4) se evidencian módulos de las deformaciones no variantes entre sí, debido a las propiedades análogas del suelo en las zonas del cruce y a similares desplazamientos transitorios esperados en el sitio.

En la tabla 5.3 se observan los resultados de las deformaciones por flotabilidad de la tubería debida a la licuefacción del terreno. Su probabilidad de ocurrencia es baja ya que las condiciones de los suelos en las zonas del cruce no coinciden con el medio necesario para la ocurrencia de este fenómeno. No obstante, se debe analizar las consecuencias de éste para garantizar la seguridad del gasoducto bajo las características más críticas de operación. Para ello es necesario estimar la fuerza de flotabilidad generada que actúa como una carga uniformemente distribuida sobre el eje longitudinal de la tubería, lo que se traduce en una posible deformación por flexión. Las deformaciones resultaron iguales para la mayoría de los cruces ya

que las propiedades de saturación del suelo y la geometría de la zona de deformación son las mismas.

Tabla 5.3 Deformaciones por flotabilidad debida a licuefacción del suelo resultantes del análisis sísmico en el gasoducto SINORGAS

Cruce	$\epsilon_{\text{licuefacción}}(\%)$	
	t=0.688 in	t=0.562 in
CFBM-1	0.103	0.124
CFBM-2	0.103	0.124
CFBM-3	0.103	0.124
CFBM-4	0.103	0.124
CFBM-5	0.103	0.124
CFBM-6	0.103	0.124
CFBM-7	0.103	0.124
CFBM-8 ^[*]	0.091	0.126
CFGs-1	0.103	0.124
CFGs-2	0.103	0.124
CFGs-3	0.103	0.124
CFGs-4	0.103	0.124

En la tabla 5.4 se exponen los resultados de las deformaciones para la distorsión abrupta del suelo, es decir, la deformación producto del desplazamiento relativo como consecuencia de la liberación súbita de energía al iniciarse el evento sísmico. Este es el fenómeno que tiene más influencia sobre las deformaciones producto de un evento sísmico, ya que este presenta el mayor índice de deformación al compararlo con los demás efectos asociados. Esto debido a que contempla los desplazamientos de cada plano de falla cuando ocurre el desplazamiento abrupto del terreno. Cabe destacar que la dispersión en los resultados es consecuencia directa de

la diferencia entre los tipos de falla, los ángulos de buzamiento de cada plano de la falla (Ψ) y los ángulos entre la orientación de la falla con la alineación del gasoducto (β). El grado de deformación lo determina la relación entre estos parámetros ya que ésta deriva de la suma de las componentes vectoriales de los desplazamientos axiales, laterales y verticales y del factor de importancia para deformación abrupta del suelo según la clase de tubería.

Tabla 5.4 Deformaciones por cruce de fallas resultantes del análisis sísmico en el gasoducto SINORGAS

Cruce	$\epsilon_{\text{cruce de fallas}}(\%)$	
	t=0.688 in	t=0.562 in
CFBM-1	0.062	0.070
CFBM-2	0.496	0.601
CFBM-3	0.328	0.396
CFBM-4	0.087	0.101
CFBM-5	0.475	0.576
CFBM-6	0.447	0.542
CFBM-7	0.271	0.326
CFBM-8 ^[*]	0.185	0.237
CFGS-1	1.013	1.234
CFGS-2	0.575	0.698
CFGS-3	0.624	0.758
CFGS-4	0.626	0.761

Finalmente, en la tabla 5.5 se muestran los resultados de las deformaciones para el último efecto analizado asociado a un evento sísmico: la propagación de onda sísmica. Este produce diversos modos en que el sistema de tuberías puede deformarse ya que son producto de los tipos de onda que se propagan en el suelo: ondas primarias

y ondas superficiales. Sin embargo, al utilizar la metodología para el cálculo de los parámetros de diseño, se evidencia que los índices de deformación no tienen mayor trascendencia sobre la integridad del sistema porque los valores de las deformaciones son pequeños en comparación con las máximas tolerables. Las variaciones en los resultados dependen principalmente de la aceleración máxima esperada en el suelo, ya que este parámetro representa el módulo máximo de la aceleración del terreno dependiendo de la zona sísmica según la clasificación sísmica suministrada por la fundación venezolana de investigaciones sismológicas (FUNVISIS). Los cambios en las deformaciones se presentan primordialmente por los cambios en las velocidades, la manera de propagación y la forma del tipo de onda presente para la zona de estudio.

Tabla 5.5 Deformaciones por propagación de onda sísmica resultantes del análisis sísmico en el gasoducto SINORGAS

Cruce	$\epsilon_{\text{propagacion de onda}}(\%)$	
	t=0.688 in	t=0.562 in
CFBM-1	0.076	0.083
CFBM-2	0.076	0.083
CFBM-3	0.084	0.092
CFBM-4	0.084	0.092
CFBM-5	0.079	0.086
CFBM-6	0.079	0.086
CFBM-7	0.082	0.089
CFBM-8 ^[*]	0.081	0.087
CFGs-1	0.093	0.100
CFGs-2	0.093	0.100
CFGs-3	0.093	0.100
CFGs-4	0.093	0.100

5.1.3 Simulaciones en CAESAR II aplicando análisis por elementos finitos

El análisis del modelo tridimensional realizado en el software CAESAR II para el estudio de esfuerzos generados por la potencial actividad sísmica en el gasoducto del Sistema Nor-Oriental de gas, producto del análisis estático por deformación permanente del suelo y como consecuencia del análisis dinámico de los espectros de respuesta, generó una serie de reportes que se encuentran ubicados en el apéndice D y E. Sin embargo, en la tabla 5.6 se muestra un resumen con los esfuerzos máximos resultantes en el sistema, para cada modelo sometido a estudio en los cruces de fallas, bajo la acción de la deformación permanente del suelo. Los resultados mostrados en esta tabla son usados para determinar el grado de resistencia del gasoducto al estudiar este fenómeno independientemente. Las comparaciones entre ambas metodologías se realizan utilizando las tablas 5.1 y 5.7 dispuestas en este capítulo de resultados.

Tabla 5.6 Esfuerzos resultantes del análisis estático por deformación permanente del suelo en el gasoducto SINORGAS

Cruce	$\sigma_{(t=0.688in)}$ [MPa]	%Esfuerzo	$\sigma_{(t=0.562in)}$ [MPa]	%Esfuerzo
CFBM-1	152.74	45.44	187.03	55.64
CFBM-2	122.81	36.54	149.45	44.46
CFBM-3	215.76	64.19	253.27	75.35
CFBM-4	216.11	64.29	253.63	75.46
CFBM-5	182.69	54.35	216.69	64.47
CFBM-6	182.72	54.36	216.72	64.48
CFBM-7	216.11	64.29	253.64	75.46
CFBM-8 ^[*]	122.81	60.87	149.45	74.08
CFGS-1	247.27	73.57	288.27	85.77
CFGS-2	204.18	60.75	240.67	71.60
CFGS-3	160.62	47.79	192.16	57.17
CFGS-4	180.71	53.76	201.73	60.02

Los esfuerzos resultantes son producto de la aplicación de desplazamientos del terreno en los extremos de la zona de deformación al sistema de tuberías. Estas cargas son impuestas en dirección contraria. Su magnitud es igual a una fracción del desplazamiento que se espera del terreno en los nodos correspondientes a la zona de deformación suministrada por FUNVISIS para sismos máximos. Dado que es improbable que ambos extremos sobrelleven el desplazamiento máximo simultáneamente se atribuye una porción de 66.67% del máximo desplazamiento (a cada lado) para representar una situación razonable, siempre que se consideren los planos de desplazamiento de las fallas y todas las direcciones posibles del tubo como casos límites.

Se evidencia en los resultados mostrados en la tabla 5.6 una tendencia similar entre los valores de esfuerzos generados por deformación permanente del suelo al aplicar el análisis estático usando el software CAESAR II. Los cruces con características de desplazamientos similares presentaron un comportamiento análogo. Para los primeros dos cruces de fallas (CFBM-1; CFBM-2) se presentaron los índices de esfuerzo más bajo debido al poco desplazamiento diferencial existente entre los bloques tectónicos de las fallas menores en la zona de Urica. En los siguientes dos cruces (CFBM-3; CFBM-4) se evidencia valores de esfuerzo muy similares debido a que los módulos de desplazamiento y el ancho de la zona de deformación es la misma para ambos. Los cruces CFBM-5 y CFBM-6 presentan similares módulos de esfuerzos ya que estos sólo presentan deformación en el plano vertical por el comportamiento inverso de la falla en esa zona. En definitiva para la falla de Urica, el gasoducto posee una elevada integridad estructural.

Se muestra en la tabla 5.6 que en el cruce falla correspondiente a San Francisco (CFBM-7) se cumple con los esfuerzos admisibles para los espesores sometidos a estudio. En el cruce de Laguna Grande (CFBM-8) se nota que los porcentajes de esfuerzo son elevados ya que el esfuerzo admisible disminuye por la

calidad del material de la tubería API 5L X52 en comparación con los sectores restantes del gasoducto donde el material es API 5L X65.

En el gasoducto Guiria-San Antonio se encuentra el cruce de falla con mayor intensidad de desplazamiento denominado El Pilar (CFGS-1). En este se evidencian los mayores niveles de esfuerzo debido al elevado desplazamiento esperado entre las placas Suramericana y del Caribe. En los cruces de fallas restantes de este gasoducto (CFGS-2, CFGS-3 y CFGS-4) se cumplen con los límites permisibles para los espesores sometidos a estudio. La variabilidad entre los resultados de los esfuerzos es consecuencia directa de los cambios entre los planos de deformación característicos de las fallas y la alineación del gasoducto con respecto a éstas. En la tabla 5.7 se muestran los esfuerzos resultantes del análisis espectral para los modelos de tubería sometidos a estudio.

Tabla 5.7 Esfuerzos resultantes del análisis dinámico en el gasoducto SINORGAS

Cruce	$\sigma_{(t=0.688in)}$ [MPa]	%Esfuerzo	$\sigma_{(t=0.562in)}$ [MPa]	%Esfuerzo
CFBM-1	272.94	60.92	298.80	66.69
CFBM-2	277.93	62.03	288.53	64.40
CFBM-3	281.06	62.73	310.95	69.40
CFBM-4	302.25	67.46	306.99	68.52
CFBM-5	272.79	60.89	285.89	63.81
CFBM-6	276.71	61.76	283.12	63.19
CFBM-7	299.73	66.90	314.21	70.13
CFBM-8 ^[*]	248.78	69.49	309.78	86.53
CFGS-1	348.17	77.71	382.15	85.30
CFGS-2	294.49	65.73	316.94	70.74
CFGS-3	277.23	61.88	305.48	68.18
CFGS-4	289.02	64.51	315.16	70.34

Los resultados obtenidos son el producto de la aplicación en conjunto de las cargas inherentes a la operación del gasoducto (Peso del sistema de tuberías, presión de operación y expansión térmica) y las cargas generadas por un evento sísmico aplicadas ocasionalmente sobre la estructura del mismo. El espectro del sismo fue aplicado para cada modelo en los cruces de fallas en los ejes coordenados a excepción del eje vertical (Y) donde se usó una fracción (66.67%) debido al menor efecto de las ondas en este sentido.

En líneas generales, en los resultados generados se observa que para el espesor $t=14.27\text{mm}$ (0.562 in) los esfuerzos resultantes se incrementaron en magnitud en comparación con el espesor $t=17.47\text{mm}$ (0.688 in) ya que por definición estos son producto del valor de la fuerza aplicada sobre el elemento por unidad de área. Si el espectro de frecuencia aplicado al sistema de tuberías permanece constante debido a las características sísmicas de la zona y se reduce el espesor de pared del tubo, los esfuerzos generados se incrementan según la relación básica de esfuerzos. Esta tendencia también se cumple para el cruce de falla de Laguna Grande donde los espesores comparados fueron $t=12.7\text{mm}$ (0.500 in) y $t=9.53\text{mm}$ (0.375 in), respectivamente.

La variabilidad entre los resultados de los esfuerzos observados en la tabla 5.7 está determinada principalmente por tres factores fundamentales. Primero, el cambio en la intensidad de las aceleraciones espectrales en función del período estructural y su consecuente respuesta en el tiempo, es decir, la variación entre las aceleraciones, velocidades y desplazamientos máximos del terreno en función del tiempo ante la ocurrencia de un sismo. Segundo, el cambio en la configuración espacial de los elementos que representan el modelo tridimensional para cada zona en los cruces de fallas. Por ejemplo, en los cruces de fallas de Urica (CFBM-1/CFBM-6) aunque se aplique el mismo espectro de aceleraciones, el sistema de tuberías correspondiente al gasoducto tiene una respuesta diferente debido a los cambios de alineación del

tendido de éste. Tercero, la variación entre las restricciones axiales, laterales y verticales producto de las propiedades del suelo.

La tendencia entre los resultados de los esfuerzos y las deformaciones producto de los efectos relacionados con un evento sísmico es la misma ya que el material del gasoducto bajo la carga aplicada se encuentra en la zona elástica del diagrama esfuerzo-deformación, en donde, para los aceros sometidos a estudio (API 5L X65 y API 5L X52) se cumple la ley de proporcionalidad de Hooke. Por lo tanto, un incremento en el esfuerzo causa un incremento proporcional en la deformación unitaria ya que existe una relación lineal entre estas variables, definida por el módulo de Young, representada por la pendiente de esta recta en la zona elástica.

Al comparar los resultados generados por ambas metodologías se evidencia una similitud entre las tendencias de los esfuerzos producto de la potencial actividad sísmica, lo que permite establecer que es adecuada la utilización de las correlaciones cuando no se cuente con la suficiente información sísmica o cuando se requiera una evaluación conceptual de los efectos asociados a las cargas generadas sobre un sistema de tuberías enterradas producto de un evento sísmico. Sin embargo, cuando se requiera de un análisis más específico y detallado de las consecuencias de un evento de tal magnitud, se hace necesaria la utilización de técnicas avanzadas como la de análisis por elementos finitos. Se nota al comparar las tablas 5.1 y 5.7 como los índices de esfuerzo resultaron mayores para las simulaciones realizadas con el software de análisis por elementos finitos ya que éste realiza un estudio más riguroso y específico sobre cada uno de los elementos discretizados de la malla pertenecientes al modelo del sistema. Ambas metodologías arrojaron valores de esfuerzo y deformaciones que cumplen con los límites de esfuerzo admisible para los espesores comparados. Sin embargo, cabe destacar que para zonas con características sísmicas críticas con elevados parámetros de deformación debido a efectos asociados a un evento sísmico, la metodología empleada puede no ser suficiente para estimar los

esfuerzos y deformaciones generados por dichas condiciones de carga ya que los resultados son una fracción de los obtenidos usando el software de análisis por elementos finitos. En ese caso, el método empleado funciona como una aproximación y debe ser utilizado sólo para fines conceptuales o preliminares.

CAPÍTULO VI

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La evaluación del diseño mecánico del sistema Nor-Oriental de Gas en los cruces de fallas geológicas, al aplicar la metodología y usando un software de análisis por elementos finitos, generó resultados que permiten establecer conclusiones y recomendaciones.

6.1 Conclusiones

- En función de las metodologías empleadas para realizar el análisis y de acuerdo a los resultados obtenidos se verificó que el gasoducto tendrá un comportamiento estructural adecuado en los cruces de fallas geológicas, es decir, la geometría y los espesores estudiados ($t=0.562$ in y $t=0.688$ in) cumplen con los límites permisibles de esfuerzos combinados y deformaciones señalados en el código ASME B31.8 ante un posible evento sísmico.

- La deformación abrupta del suelo (deformación por cruce de fallas) es el fenómeno asociado a un evento sísmico de mayor impacto sobre la resistencia estructural del gasoducto en los cruces de fallas estudiados, según el análisis realizado al aplicar las metodologías de evaluación en el gasoducto del Sistema Nor-Oriental de Gas.

- La variabilidad entre los resultados de los esfuerzos y deformaciones generados está determinada principalmente por el cambio en la intensidad de las aceleraciones espectrales en función del periodo estructural y su consecuente respuesta en el tiempo, la variación en la configuración espacial de los elementos que representan el modelo tridimensional del sistema y el

cambio en las restricciones axiales laterales y verticales para cada cruce de falla.

- Los resultados obtenidos usando la metodología recomendada son similares a los generados por el software de análisis por elementos finitos CAESAR II V4.40 usado para el desarrollo del proyecto. Estos presentan la misma tendencia en los índices de esfuerzo y deformaciones cuando las fallas no muestren características sísmicas críticas con elevados parámetros de deformación.
- La utilización de la metodología recomendada es adecuada cuando no se cuente con la suficiente información sísmica o cuando se requiera una evaluación conceptual de los efectos asociados a las cargas generadas sobre un sistema de tuberías enterradas producto de un evento sísmico.

6.2 Recomendaciones

- El Pilar (Entre Progresivas 104+000 y 105+000) es el cruce de falla con la exigencia más significativa de carga sobre el gasoducto ante un evento sísmico. Por lo tanto, se deben tomar en cuenta consideraciones que disminuyan el efecto de este tipo de cargas, tales como: incrementar el espesor de pared de la tubería o mejorar la calidad del acero.
- Se debe estudiar la posibilidad de mejorar las propiedades del suelo circundante a la ruta del gasoducto para disminuir las consecuencias de un posible evento sísmico sobre la funcionalidad, operatividad y seguridad del sistema de tuberías del Sistema Nor-Oriental de Gas.
- Se debe considerar los criterios de diseño empleados en la metodología recomendada como base para la realización de una normativa nacional que

permita evaluar el grado de resistencia estructural de gasoductos enterrados cuando estos son sometidos a cargas de origen sísmico.

BIBLIOGRAFÍA CITADA

[1] Hall W., Nyman D., Johnson E. y Norton D., **“Performance of the Trans-Alaska pipeline in November 3, 2002 Denali fault earthquake”** (2003). Disponible en:

<http://www.alaska-pipe.com/InTheNews/techpapers/0TAPS%20Plenary%20Denali%20EQ.pdf>

[2] Leal D, **“Análisis de Flexibilidad del Sistema de Tuberías del Gasoducto Barbacoa-Cumana-Isla de Margarita”**. Trabajo de Grado. Universidad de Oriente. Puerto la Cruz. Venezuela (2006)

[3] González I, **“Desarrollar una Metodología para el Cálculo de Espesores en el Diseño Mecánico de Gasoductos en Tramos Submarinos”**. Trabajo de Grado. Universidad de Oriente. Puerto la Cruz. Venezuela (2007)

[4] Wikipedia, **“Gasoducto”**. Wikimedia Foundation, Inc (2008). Disponible en:

<http://es.wikipedia.org/wiki/Gasoducto>

[5] AMERICAN SOCIETY OF MECHANICAL ENGINEERS (ASME) B31.8 **“Gas Transmission and Distribution Piping Systems”**, Edición 2003

[6] Fratelli M, **“Suelos, fundaciones y muros”** Departamento de arquitectura e ingeniería civil. Universidad Central de Venezuela. Caracas (1993)

[7] FUNVISIS, **“La investigación sismológica en Venezuela”** Ministerio de ciencia y tecnología. Caracas (2002)

[8] FUNVISIS, “**Estudio de amenaza sísmica, cruce de fallas y procesos geomorfológicos activos para los proyectos de gasoductos y oleoducto de la región nororiental del país**”. Caracas (2006).

[9] PROYECTA CORP, “**Estudio geotécnico proyecto transporte de gas costa afuera (oriente) – mercado interno**”. (2007)

[10] Gardiner L, “**Fallas Geológicas**”. Universidad para investigaciones atmosféricas (UCAR). (2006). Disponible en:

www.windows.ucar.edu/tour/link=/earth/geology/fault.sp.html

[11] Delgado J, Jáuregui P, “**Ondas Sísmicas**”. Unidad de registro sísmico de la provincia de alicante. Universidad de alicante. (2008) Disponible en: www.ua.es/ursua/ondas.htm

[12] Dash S. y Jain S., “**Guidelines for Seismic Design of buried pipelines**”. Departamento de Ingeniería Civil del Instituto de Tecnología de Kanpur. Kanpur (2007)

[13] Wikipedia, “**Método de los elementos finitos**”. Wikimedia Foundation, Inc (2008). Disponible en: es.wikipedia.org/wiki/Método_de_los_elementos_finitos

[14] Vélez-Pareja I., “**Análisis de sensibilidad**”. Politécnico Grancolombiano. Bogotá Copyright (2003)

[15] Wikipedia, “**Análisis dinámico**”. Wikimedia Foundation, Inc (2008). Disponible en:

http://es.wikipedia.org/wiki/Análisis_dinámico

[16] Wikipedia, “**Espectro de frecuencias**”. Wikimedia Foundation, Inc (2008). Disponible en: http://es.wikipedia.org/wiki/Espectro_de_frecuencias

[17] Wikipedia, “**Teorema de muestreo de Nyquist-Shannon**”. Wikimedia Foundation, Inc (2008). Disponible en:
http://es.wikipedia.org/wiki/Teorema_de_muestreo_de_Nyquist-Shannon

[18] COADE INC “CAESAR II User’s Guide” (Mayo 2002)

APÉNDICE

APÉNDICE A

DATOS OPERACIONALES

Descripción del gasoducto SINORGAS

El gasoducto del sistema Nor-Oriental de Gas comprende dos proyectos particulares: el Gasoducto Barbacoa-Cumaná-Isla de Margarita y el Gasoducto Guiria-San Antonio del Golfo, asentados en los estados Anzoátegui, Sucre y Nueva Esparta sometidos a la evaluación del diseño mecánico, descritos a continuación:

Gasoducto Barbacoa-Cumaná-Isla de Margarita

Este proyecto contempla la construcción de un gasoducto de 0.9144m (36”), con líneas de distribución de 0.6604m (26”) y 0.4064m (16”) de diámetros, usando tuberías bajo especificaciones API 5L y de aproximadamente 214,39 kilómetros de longitud total, con una máxima presión de operación de 8273.71 KPa (1.200 psig), que partirá desde la estación de válvulas Barbacoa II (BM-10), al sur del parcelamiento Barbacoa en el estado Anzoátegui, hasta llegar al punto de entrega final ubicado en la estación de válvulas Margarita (BM-30), cerca de la planta termoeléctrica “Luisa Cáceres de Arismendi” en la vecindad de la población de San Antonio al sudeste de la Isla de Margarita en el estado Nueva Esparta.

El proyecto “Gasoducto Barbacoa-Cumaná-Isla de Margarita”, tiene como objetivo básico desarrollar el diseño, procura y construcción de un sistema de transporte para suministrar gas natural a los clientes industriales, comerciales y residenciales en el eje Barbacoa-Cumaná-Isla de Margarita en el noreste del país, y en el mediano plazo disponer de facilidades para incorporar al mercado interno los volúmenes de gas a ser producidos costa afuera, de modo de satisfacer la creciente demanda de ese mismo eje y complementar los requerimientos de gas del Complejo

Industrial Petrolero y Petroquímico José Antonio Anzoátegui. Así, el nuevo gasoducto permitirá la entrega de combustible económico y ecológicamente más limpio para el sector eléctrico. Adicionalmente, con la incorporación de este gasoducto y disponibilidad del gas se espera apalancar el desarrollo industrial y mejorar la calidad de vida de los pueblos y ciudades en el área de influencia de la nueva tubería, asegurándoles a los consumidores la calidad y confiabilidad del servicio.

Gasoducto Guiria-San Antonio del Golfo

El proyecto contempla la construcción de un gasoducto de 0.9144m (36”) de diámetro, usando tuberías bajo especificaciones API 5L y de aproximadamente 191,55 kilómetros de longitud total, con una máxima presión de operación de 8273.71 KPa (1.200 psig), que partirá desde la estación de válvulas Güiria (GS-10) en el Complejo Industrial Gran Mariscal de Ayacucho (CIGMA) hasta la estación de válvulas de San Antonio del Golfo (Estación de Interconexión Sistema Barbacoa-Cumaná-Isla de Margarita), y la construcción de una planta compresora ubicada en Muelle Cariaco, Edo. Sucre.

El objetivo es transportar y distribuir gas desde la estación inicial CIGMA (al Sureste de la península de Paria, estado Sucre) al mercado interno nacional, con el fin de atender la demanda en la región Nor-oriental y otras regiones del país. Asimismo, pretende impulsar el desarrollo industrial y mejorar la calidad de vida de los pueblos y ciudades, a través de los planes de gasificación nacional.

Con el propósito de satisfacer los pronósticos de demanda de gas metano proyectados en el sistema de transporte costa afuera, el cual contempla un volumen inicial de 600 MMPCED creciente hasta un máximo de 2.000 MMPCED, PDVSA busca maximizar el aporte del gas al mercado interno, fomentar y asegurar el desarrollo del mercado de gas para su industrialización y desarrollo económico, así

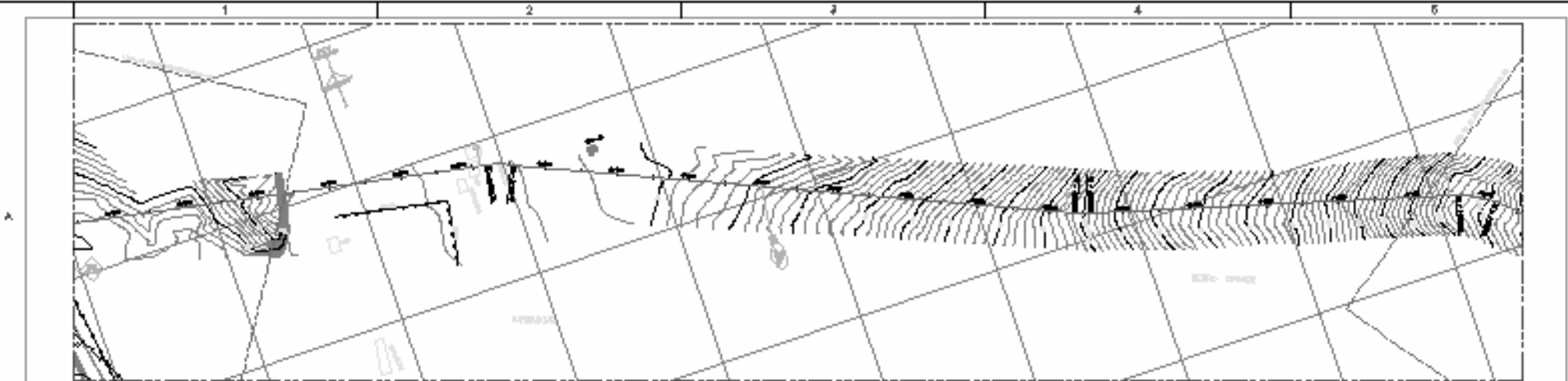
como también promover el desarrollo endógeno sustentable de la nación mejorando la calidad de vida en las áreas de influencia, siendo distribuido de la siguiente manera: sistema de transporte Guiria–San Antonio del Golfo interconectado al Sistema Barbacoa-Cumaná-Isla de Margarita, de 700 a 1.000 MMPCED, a una presión de entrega en la localidad de Güiria (Complejo Industrial Gran Mariscal de Ayacucho) de 1200 psig.

Especificaciones de diseño

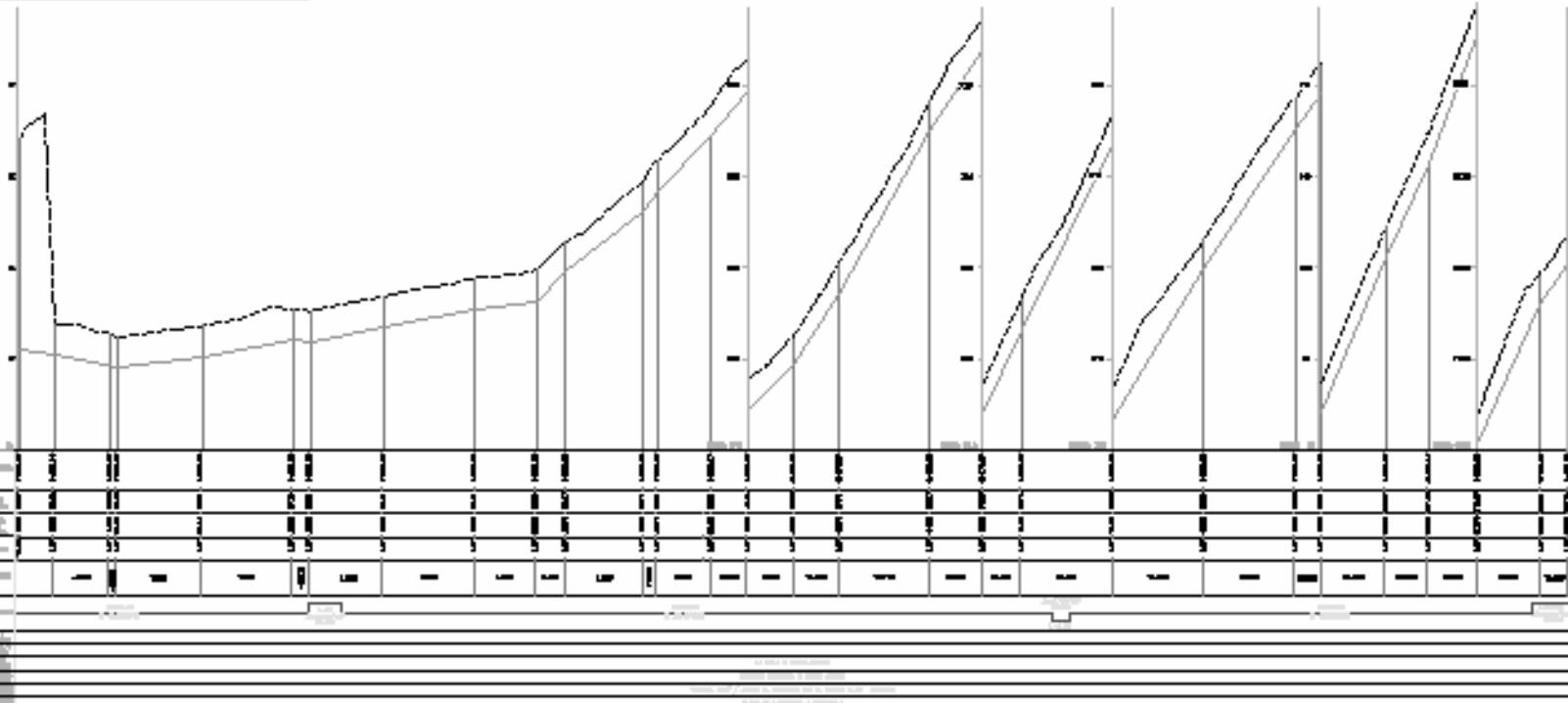
El diseño original del gasoducto del sistema Nor-Oriental de Gas está sustentado en documentos generales multidisciplinarios y planos de alineamiento que contienen los datos necesarios para la realización de la evaluación del diseño mecánico, estos se muestran para cada cruce de falla en el apéndice A. Las características operacionales del sistema de tuberías se describen a continuación:

- Fluido: Gas Metano
- Presión de diseño en la tubería: 8273710,90 Pa (1200 Psig)
- Temperatura de Operación: 48,80 °C (120 °F)
- Temperatura de Diseño: 58,88 °C (138 °F)
- Gravedad Específica del Gas: 0,704
- Material de la tubería:
 - ◆ Tubería de D=0,9144 m (36"): Acero al carbono API 5L Gr. X65
 - ◆ Tubería de D=0,4064 m (16"): Acero al carbono API 5L Gr. X52
 - ◆ Tubería de D=0,6604 m (26"): Acero al carbono API 5L Gr. X60
- Espesor de pared nominal seleccionado para las tuberías principales (Depende de la clasificación de áreas poblacionales):
 - ◆ Tubería de D=0,9144 m (36"), API 5L Gr. X65 PSL2: SAW Long. y/o Hel.
 - Clase 2: $e = 0.0142 \text{ m (0.562")}$

- Clase 3: $e = 0.0174 \text{ m (0.688")}$
 - ◆ Tubería de $D=0,4064 \text{ m (16")}$, API 5L Gr. X52 PSL 2: S/C-ERW-SAW Long. y/o Hel.
 - Clase 2: $e = 0.0079 \text{ m (0.312")}$
 - Clase 3: $e = 0.0095 \text{ m (0.375")}$
 - Submarina: $e = 0.0127 \text{ m (0.500")}$
 - ◆ Tubería de $D=0,6604 \text{ m (26")}$, API 5L Gr. X60 PSL2: SAW Long. y/o Hel.
 - Clase 2: $e = 0.0111 \text{ m (0.438")}$
 - Clase 3: $e = 0.0127 \text{ m (0.500")}$
- Revestimiento Tricapa con Polietileno de Alta Densidad (3PE): 120 Mils de espesor, para las tuberías enterradas, aplicadas al Gasoducto de $D=0,9144 \text{ m (36")}$.
- Revestimiento exterior de las soldaduras en campo (juntas): mangas termocontráctiles tanto para los tramos terrestres como para los submarinos.
- Revestimiento exterior de la tubería submarina: Revestida en planta con tricapa con polietileno y recubrimiento de concreto.



PLAN DE LA LOMA DE SANITA P.M. ENTRE PUERTO RICO 3499 Y 4180



PROF. LONGITUDINAL ENTRE PUERTO RICO 3499 Y 4180

TIPO	ANCHO	ELEVACION	GRADIENTE
1	3.00	100.00	0.00
2	3.00	100.50	0.50
3	3.00	101.00	1.00
4	3.00	101.50	1.50
5	3.00	102.00	2.00
6	3.00	102.50	2.50
7	3.00	103.00	3.00
8	3.00	103.50	3.50
9	3.00	104.00	4.00
10	3.00	104.50	4.50
11	3.00	105.00	5.00
12	3.00	105.50	5.50
13	3.00	106.00	6.00
14	3.00	106.50	6.50
15	3.00	107.00	7.00
16	3.00	107.50	7.50
17	3.00	108.00	8.00
18	3.00	108.50	8.50
19	3.00	109.00	9.00
20	3.00	109.50	9.50
21	3.00	110.00	10.00
22	3.00	110.50	10.50
23	3.00	111.00	11.00
24	3.00	111.50	11.50
25	3.00	112.00	12.00
26	3.00	112.50	12.50
27	3.00	113.00	13.00
28	3.00	113.50	13.50
29	3.00	114.00	14.00
30	3.00	114.50	14.50
31	3.00	115.00	15.00
32	3.00	115.50	15.50
33	3.00	116.00	16.00
34	3.00	116.50	16.50
35	3.00	117.00	17.00
36	3.00	117.50	17.50
37	3.00	118.00	18.00
38	3.00	118.50	18.50
39	3.00	119.00	19.00
40	3.00	119.50	19.50
41	3.00	120.00	20.00

TIPO	ANCHO	ELEVACION	GRADIENTE
1	3.00	100.00	0.00
2	3.00	100.50	0.50
3	3.00	101.00	1.00
4	3.00	101.50	1.50
5	3.00	102.00	2.00
6	3.00	102.50	2.50
7	3.00	103.00	3.00
8	3.00	103.50	3.50
9	3.00	104.00	4.00
10	3.00	104.50	4.50
11	3.00	105.00	5.00
12	3.00	105.50	5.50
13	3.00	106.00	6.00
14	3.00	106.50	6.50
15	3.00	107.00	7.00
16	3.00	107.50	7.50
17	3.00	108.00	8.00
18	3.00	108.50	8.50
19	3.00	109.00	9.00
20	3.00	109.50	9.50
21	3.00	110.00	10.00
22	3.00	110.50	10.50
23	3.00	111.00	11.00
24	3.00	111.50	11.50
25	3.00	112.00	12.00
26	3.00	112.50	12.50
27	3.00	113.00	13.00
28	3.00	113.50	13.50
29	3.00	114.00	14.00
30	3.00	114.50	14.50
31	3.00	115.00	15.00
32	3.00	115.50	15.50
33	3.00	116.00	16.00
34	3.00	116.50	16.50
35	3.00	117.00	17.00
36	3.00	117.50	17.50
37	3.00	118.00	18.00
38	3.00	118.50	18.50
39	3.00	119.00	19.00
40	3.00	119.50	19.50
41	3.00	120.00	20.00

LEYES

◆	RELOJERIA
◆	RELOJERIA
◆	RELOJERIA
◆	RELOJERIA
◆	RELOJERIA
◆	RELOJERIA
◆	RELOJERIA

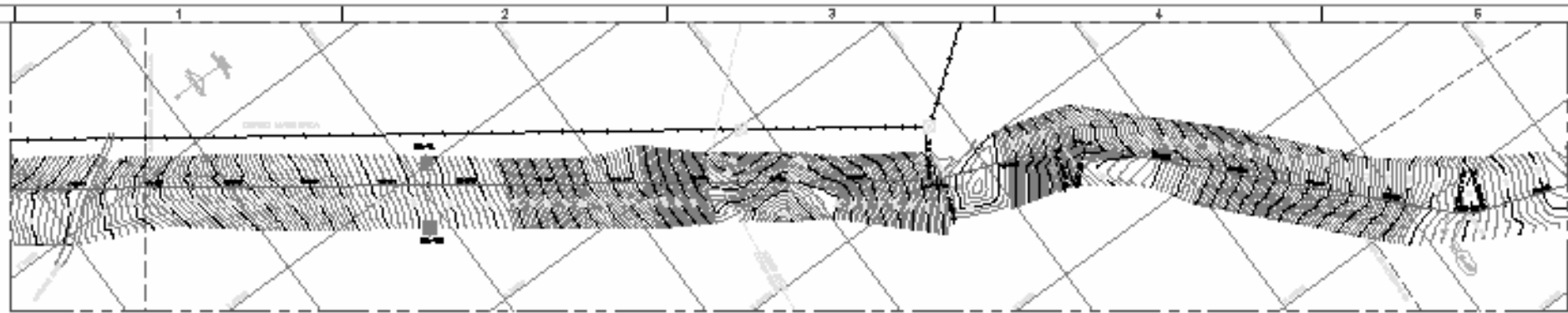
PLANOS DE MUESTREO

□	PROYECTO
□	PROYECTO
□	PROYECTO
□	PROYECTO
□	PROYECTO
□	PROYECTO
□	PROYECTO

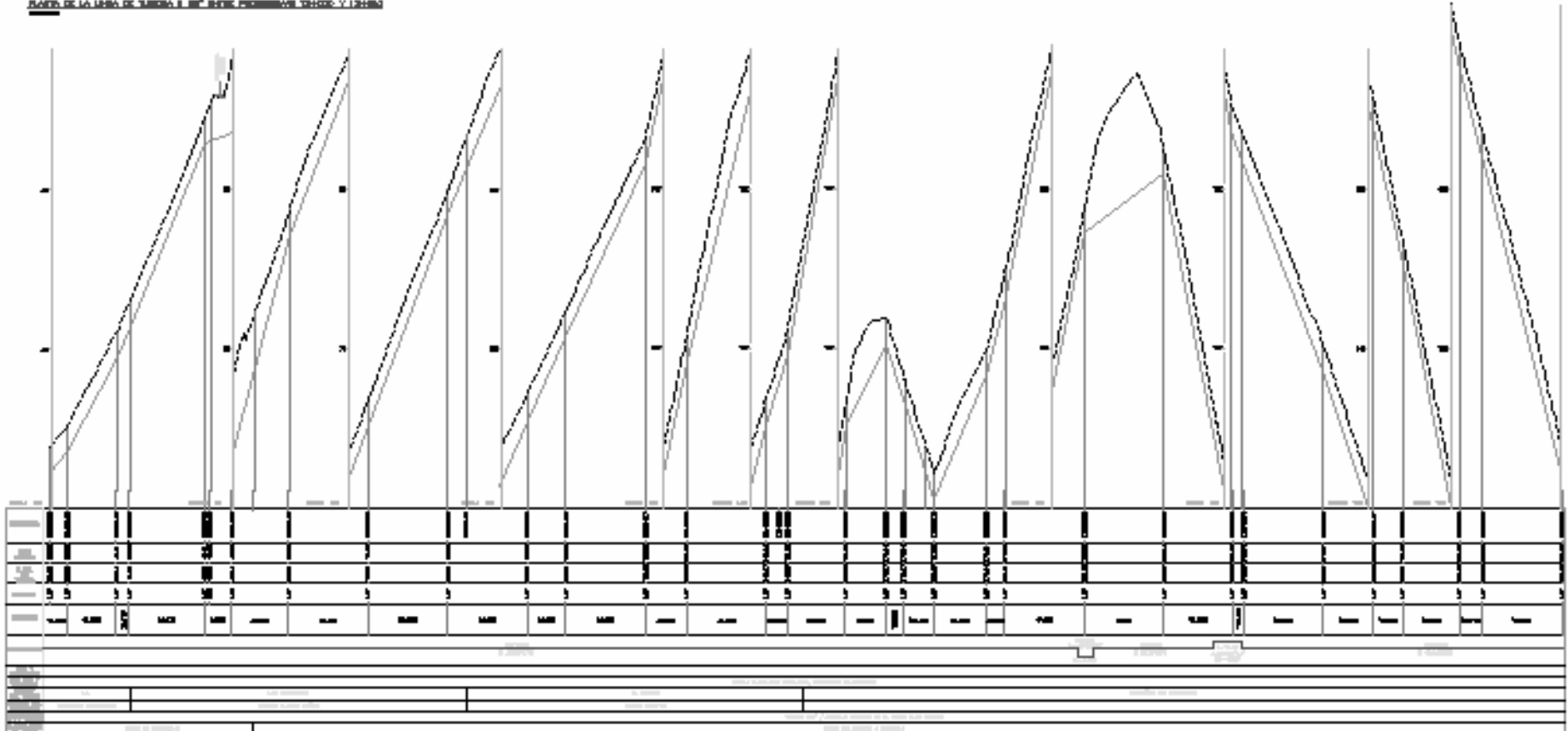
NOTAS

1. VERIFICAR EL TERRENO ORIGINAL.
2. VERIFICAR EL TERRENO ORIGINAL.
3. VERIFICAR EL TERRENO ORIGINAL.
4. VERIFICAR EL TERRENO ORIGINAL.
5. VERIFICAR EL TERRENO ORIGINAL.
6. VERIFICAR EL TERRENO ORIGINAL.
7. VERIFICAR EL TERRENO ORIGINAL.
8. VERIFICAR EL TERRENO ORIGINAL.
9. VERIFICAR EL TERRENO ORIGINAL.
10. VERIFICAR EL TERRENO ORIGINAL.
11. VERIFICAR EL TERRENO ORIGINAL.
12. VERIFICAR EL TERRENO ORIGINAL.
13. VERIFICAR EL TERRENO ORIGINAL.
14. VERIFICAR EL TERRENO ORIGINAL.
15. VERIFICAR EL TERRENO ORIGINAL.
16. VERIFICAR EL TERRENO ORIGINAL.
17. VERIFICAR EL TERRENO ORIGINAL.
18. VERIFICAR EL TERRENO ORIGINAL.
19. VERIFICAR EL TERRENO ORIGINAL.
20. VERIFICAR EL TERRENO ORIGINAL.
21. VERIFICAR EL TERRENO ORIGINAL.
22. VERIFICAR EL TERRENO ORIGINAL.
23. VERIFICAR EL TERRENO ORIGINAL.
24. VERIFICAR EL TERRENO ORIGINAL.
25. VERIFICAR EL TERRENO ORIGINAL.
26. VERIFICAR EL TERRENO ORIGINAL.
27. VERIFICAR EL TERRENO ORIGINAL.
28. VERIFICAR EL TERRENO ORIGINAL.
29. VERIFICAR EL TERRENO ORIGINAL.
30. VERIFICAR EL TERRENO ORIGINAL.
31. VERIFICAR EL TERRENO ORIGINAL.
32. VERIFICAR EL TERRENO ORIGINAL.
33. VERIFICAR EL TERRENO ORIGINAL.
34. VERIFICAR EL TERRENO ORIGINAL.
35. VERIFICAR EL TERRENO ORIGINAL.
36. VERIFICAR EL TERRENO ORIGINAL.
37. VERIFICAR EL TERRENO ORIGINAL.
38. VERIFICAR EL TERRENO ORIGINAL.
39. VERIFICAR EL TERRENO ORIGINAL.
40. VERIFICAR EL TERRENO ORIGINAL.
41. VERIFICAR EL TERRENO ORIGINAL.





PLANO DE LA LINDA DE TERRELA A 30° 30' 00" NOROCCIDENTAL TONCOLO Y TONCOLO



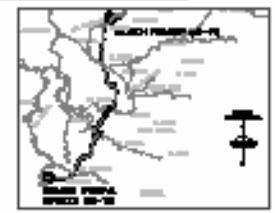
PLANO DE ALIBRAMIENTO PARA RECONSTRUCCION TUNEL BAA PLAN Y POSIC. BARR. PROYECTO TONCOLO Y TONCOLO

DATOS GENERALES DEL PROYECTO			
PROYECTO	FECHA	ESCALA	...
...

LEYENDA

- ALCANTARILLA
- ...
- ...

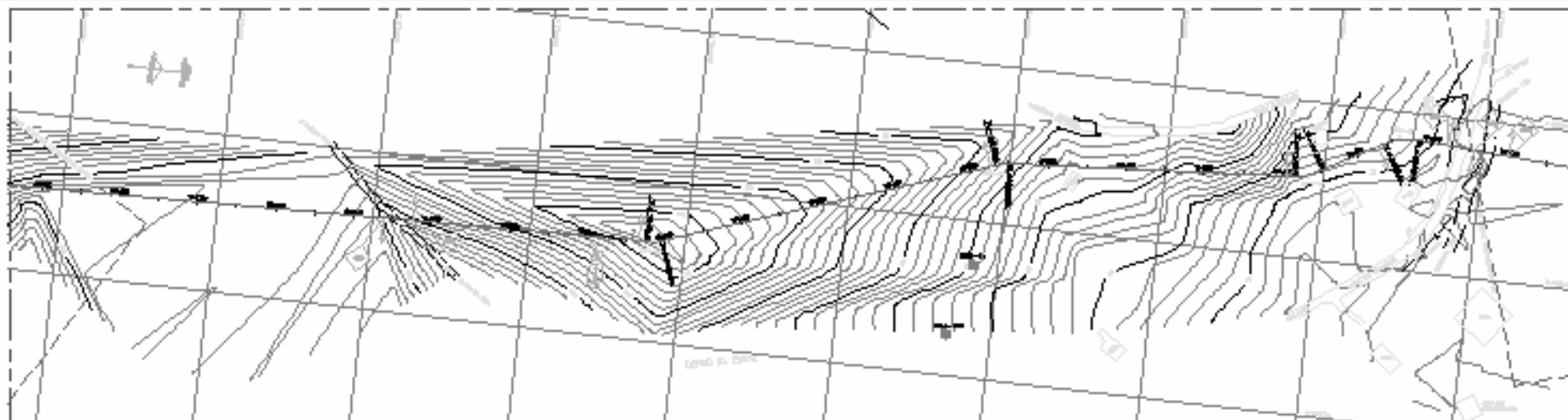
- NOTAS**
1. ...
 2. ...
 3. ...
 4. ...



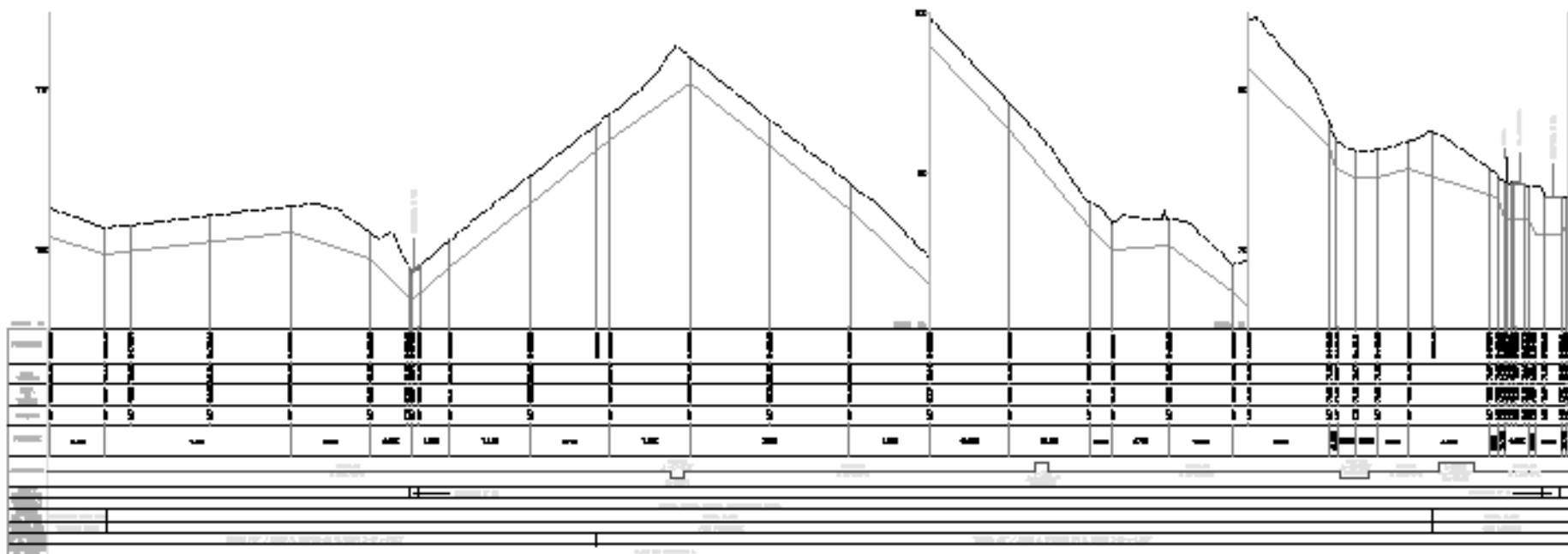
PLANO DE REFERENCIA									
NO.	DESCRIPCION	FECHA	PROYECTO	ESTADO	NO. CANTON	MUNICIPIO	TITULO	PROYECTO	TITULO



PROYECTO DE ALIBRAMIENTO PARA RECONSTRUCCION TUNEL BAA PLAN Y POSIC. BARR. PROYECTO TONCOLO Y TONCOLO



PLANO DE LA LINDA DE "BARRO A. 30" ENTRE PROMEDIOS 718890 Y 718900



PLANO UBICACION LINDA DE "BARRO A. 30" ENTRE PROMEDIOS 718890 Y 718900

TABLA DE OBRAS				
ESTACION	TIPO DE OBRERA	CANTIDAD	UNIDAD	VALOR UNITARIO
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15

LEYENDA

- OPERA:
 - SECCION DE TERRAZO
 - SECCION DE MORTON
 - SECCION DE...
 - SECCION DE...
 - SECCION DE...
 - SECCION DE...
 - SECCION DE...
 - SECCION DE...
 - SECCION DE...
 - SECCION DE...
 - SECCION DE...
 - SECCION DE...
 - SECCION DE...
 - SECCION DE...
 - SECCION DE...
- PLANO:
 - ...
 - ...
 - ...
 - ...
 - ...
 - ...
 - ...
 - ...
 - ...
 - ...
 - ...
 - ...
 - ...
 - ...
 - ...
 - ...
 - ...
 - ...
 - ...
 - ...
- OTROS:
 - ...
 - ...
 - ...
 - ...
 - ...
 - ...
 - ...
 - ...
 - ...
 - ...
 - ...
 - ...
 - ...
 - ...
 - ...
 - ...
 - ...
 - ...
 - ...
 - ...



PLANO ZONA ZONADO

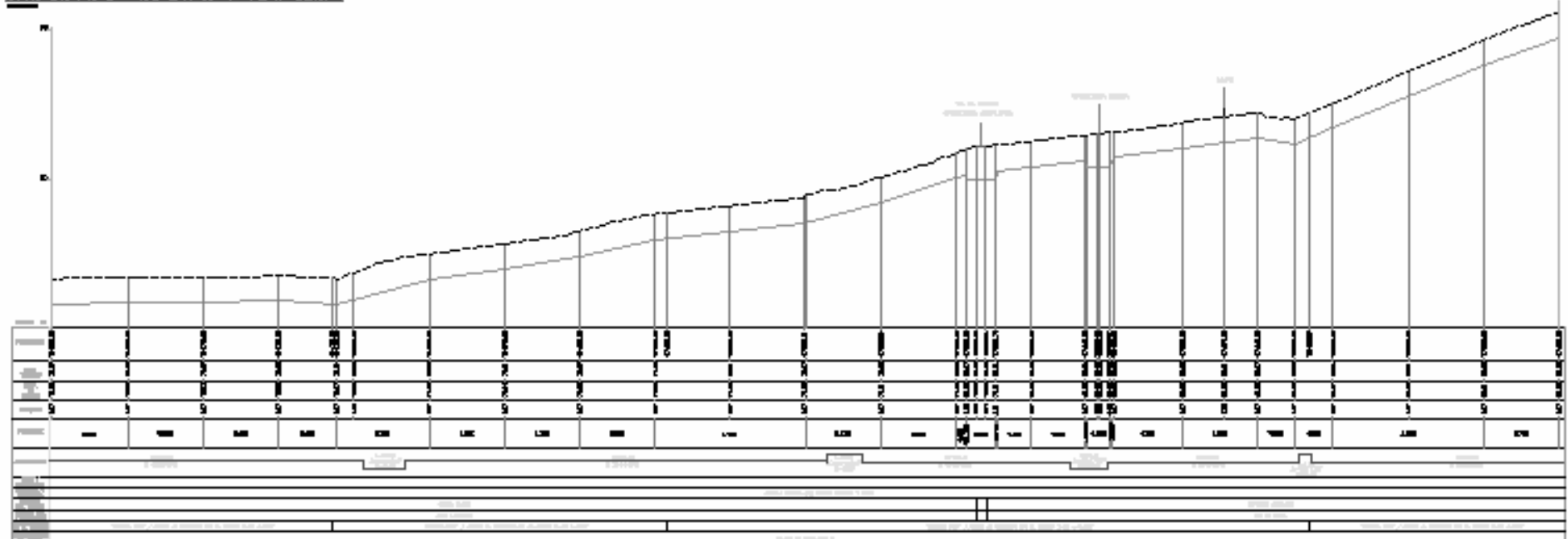
PLANO DE REFERENCIA				TITULO			
ESTACION	TIPO DE OBRERA	CANTIDAD	UNIDAD	ESTACION	TIPO DE OBRERA	CANTIDAD	UNIDAD
1	1	...	...	...
2	2	...	...	...
3	3	...	...	...
4	4	...	...	...
5	5	...	...	...
6	6	...	...	...
7	7	...	...	...
8	8	...	...	...
9	9	...	...	...
10	10	...	...	...
11	11	...	...	...
12	12	...	...	...
13	13	...	...	...
14	14	...	...	...
15	15	...	...	...

PVVA
ASOCIACION DE INGENIEROS
Y ARQUITECTOS VENEZOLANOS

PROYECTO: ...
PLAN DE ALIBRAMIENTO PARA RECONSTRUCCION DEL BARRIO ...
PLANO DE ALIBRAMIENTO PARA RECONSTRUCCION DEL BARRIO ...
PLANO DE ALIBRAMIENTO PARA RECONSTRUCCION DEL BARRIO ...



PLANO DE LA LINDA DE TERRELO A 100' DE LOS EDIFICIOS TERRELO Y 125000



SECCION TRANSVERSAL DE LA LINDA DE TERRELO A 100' DE LOS EDIFICIOS TERRELO Y 125000

ITEM	DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD
1
2

ITEM	DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD
1
2

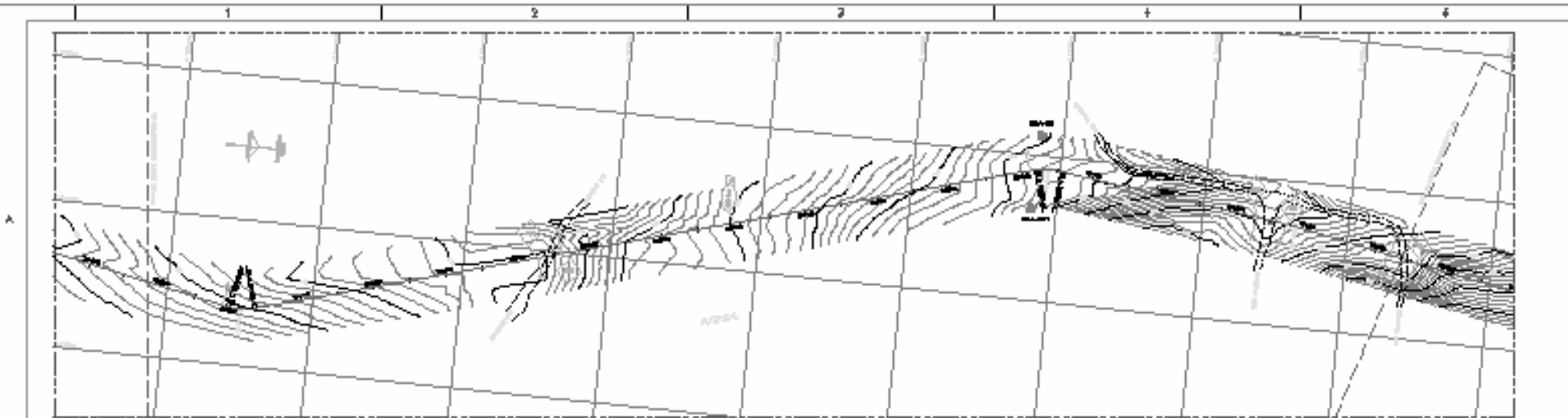
LEYENDA

	EXISTENTE		PROPUESTO
	EXISTENTE		PROPUESTO
	EXISTENTE		PROPUESTO
	EXISTENTE		PROPUESTO
	EXISTENTE		PROPUESTO

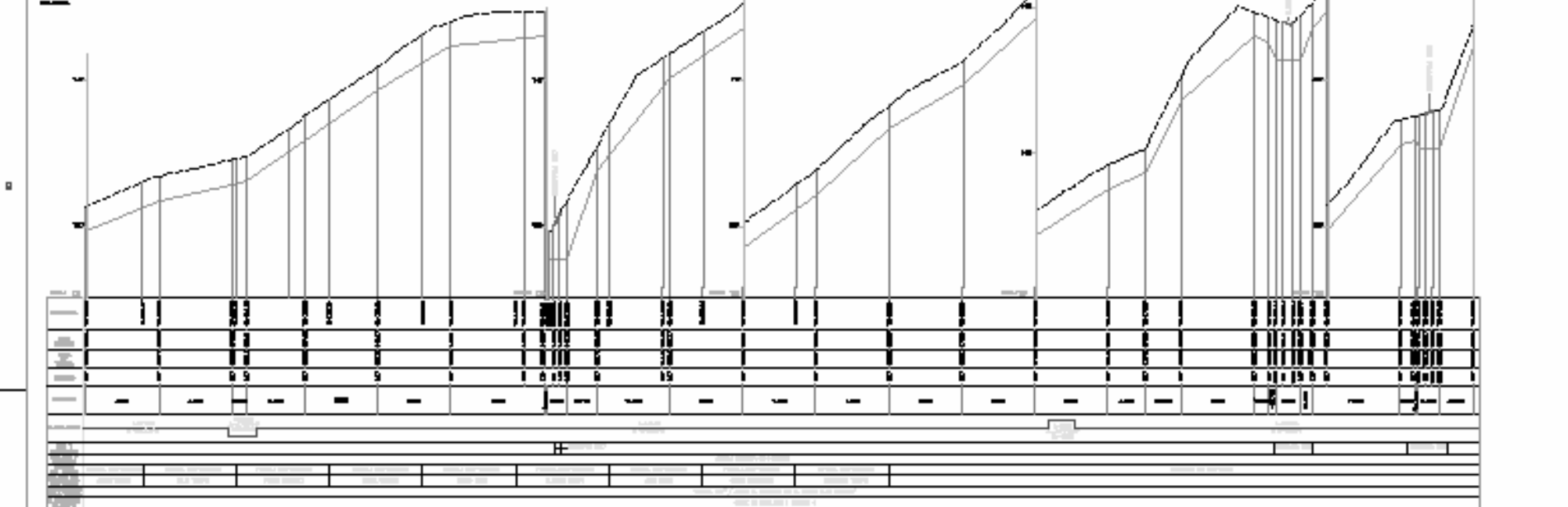
NOTAS

- ...
- ...
- ...
- ...





PLANO DE LA LINEA DE TITULO 4 DE TERCER ORDEN EN SU LINEA Y SEÑAL



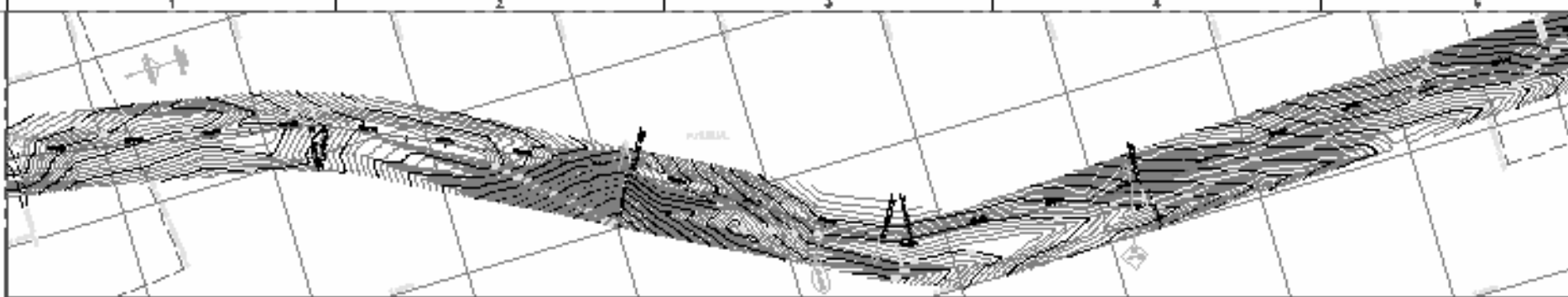
PLANO DE LAS LINEAS DE TITULO 4 DE TERCER ORDEN EN SU LINEA Y SEÑAL

DESIGNACION DE LINEAS Lineas de Tercer Orden	TITULO DE TERCER ORDEN Tercer Orden	TIPO DE TITULO Tercer Orden	TIPO DE LINEA Tercer Orden	TIPO DE SEÑAL Tercer Orden	TITULO DE SEÑAL Tercer Orden	TIPO DE LINEA Tercer Orden	TIPO DE SEÑAL Tercer Orden
--	---	---------------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------------	--	--------------------------------------	--------------------------------------

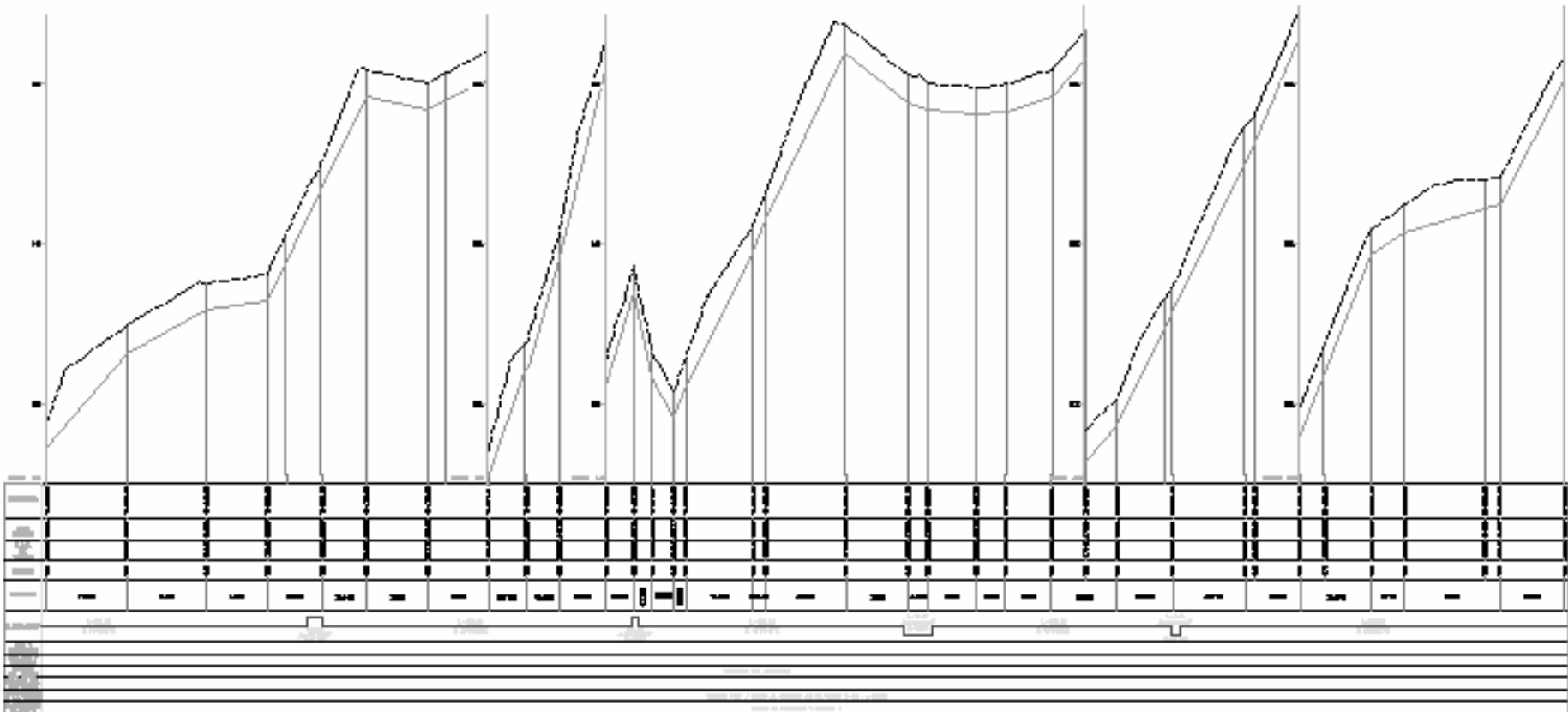
SEÑALES
Señales de Tercer Orden

TIPO DE LINEA
Lineas de Tercer Orden

TIPO DE SEÑAL
Señales de Tercer Orden



PLÁN ÚZEMNÍHO ÚRČENÍ ÚZEMÍ A ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ VE VEŘEJNÉ SPRÁVĚ
1:500



PRŮŘEZ ÚZEMNÍHO ÚRČENÍ ÚZEMÍ A ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ VE VEŘEJNÉ SPRÁVĚ
1:500

LEGENDA

	DRÁHA
	VELEBNÍ PLOCHA
	HRANIČNÍ ČARA
	LES
	ORNÁ PLOCHA
	LUKA
	PASTVINA
	HRANIČNÍ ČARA
	TECHNICKÉ ÚSTŘEDNÍ
	HRANIČNÍ ČARA

ČÍSLO ÚZEMNÍHO ÚRČENÍ ÚZEMÍ A ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ VE VEŘEJNÉ SPRÁVĚ	ROZSAH ÚZEMÍ	PROJEKTOVANÁ ČASŤ ÚZEMÍ	STAVBA
1	2	3	4
5	6	7	8

LEGENDA

	DRÁHA
	VELEBNÍ PLOCHA
	HRANIČNÍ ČARA
	LES
	ORNÁ PLOCHA
	LUKA
	PASTVINA
	HRANIČNÍ ČARA
	TECHNICKÉ ÚSTŘEDNÍ
	HRANIČNÍ ČARA

	DRÁHA
	VELEBNÍ PLOCHA
	HRANIČNÍ ČARA
	LES
	ORNÁ PLOCHA
	LUKA
	PASTVINA
	HRANIČNÍ ČARA
	TECHNICKÉ ÚSTŘEDNÍ
	HRANIČNÍ ČARA

LEGENDA

	DRÁHA
	VELEBNÍ PLOCHA
	HRANIČNÍ ČARA
	LES
	ORNÁ PLOCHA
	LUKA
	PASTVINA
	HRANIČNÍ ČARA
	TECHNICKÉ ÚSTŘEDNÍ
	HRANIČNÍ ČARA

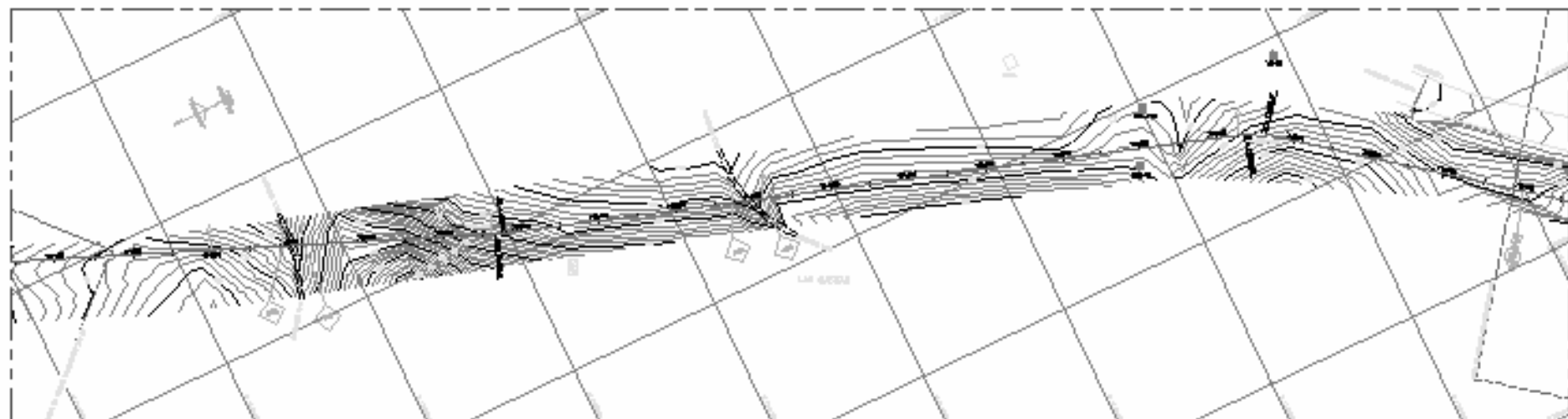


PLÁN ÚZEMNÍHO ÚRČENÍ ÚZEMÍ A ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ VE VEŘEJNÉ SPRÁVĚ

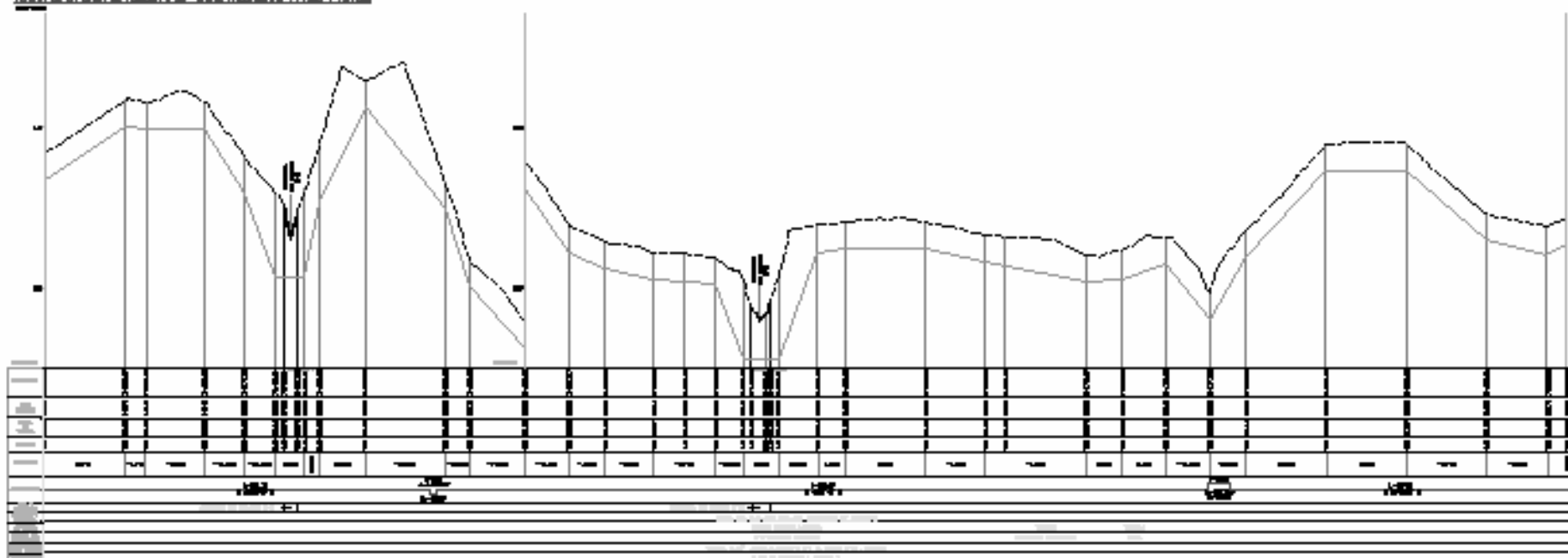
NOVĚ ZPRAVILNĚNÉ ČÁSTI	POPRÁVENÉ ČÁSTI	STAVBA	PROJEKTOVANÁ ČASŤ ÚZEMÍ	ROZSAH ÚZEMÍ	ČÍSLO ÚZEMNÍHO ÚRČENÍ ÚZEMÍ A ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ VE VEŘEJNÉ SPRÁVĚ
1	2	3	4	5	6
7	8	9	10	11	12
13	14	15	16	17	18

PRYVA s.r.o.
STŘEDNÍ ŠKOLA 6. HOŘKOV
1 PŘÍRODNÍ KRAJINA 441

MĚSTO PŘIBRAM
STŘEDOČESKÝ ÚZEMNÍ ÚŘAD
PLÁN ÚZEMNÍHO ÚRČENÍ ÚZEMÍ A ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ VE VEŘEJNÉ SPRÁVĚ
PROJEKTOVANÁ ČASŤ ÚZEMÍ
ROZSAH ÚZEMÍ
ČÍSLO ÚZEMNÍHO ÚRČENÍ ÚZEMÍ A ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ VE VEŘEJNÉ SPRÁVĚ



PLANO DE LA LOMA DE CARROSA S. DE. PUNTO NOROCCIONAL 7119849 Y 7219608



PLANO LONGITUDINAL LOMA DE CARROSA S. DE. PUNTO NOROCCIONAL 7119849 Y 7219608

LEYENDA

SEÑALES DE PRECAUCION DE TRAZADO			
	SEÑAL DE PRECAUCION DE TRAZADO	SEÑAL DE PRECAUCION DE TRAZADO	SEÑAL DE PRECAUCION DE TRAZADO

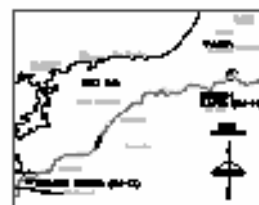
SEÑALES DE TRAZADO			
	SEÑAL DE TRAZADO	SEÑAL DE TRAZADO	SEÑAL DE TRAZADO

SEÑALES DE PRECAUCION DE TRAZADO			
	SEÑAL DE PRECAUCION DE TRAZADO	SEÑAL DE PRECAUCION DE TRAZADO	SEÑAL DE PRECAUCION DE TRAZADO

SEÑALES DE TRAZADO			
	SEÑAL DE TRAZADO	SEÑAL DE TRAZADO	SEÑAL DE TRAZADO

SEÑALES DE PRECAUCION DE TRAZADO			
	SEÑAL DE PRECAUCION DE TRAZADO	SEÑAL DE PRECAUCION DE TRAZADO	SEÑAL DE PRECAUCION DE TRAZADO

SEÑALES DE TRAZADO			
	SEÑAL DE TRAZADO	SEÑAL DE TRAZADO	SEÑAL DE TRAZADO



SEÑAL DE PRECAUCION DE TRAZADO

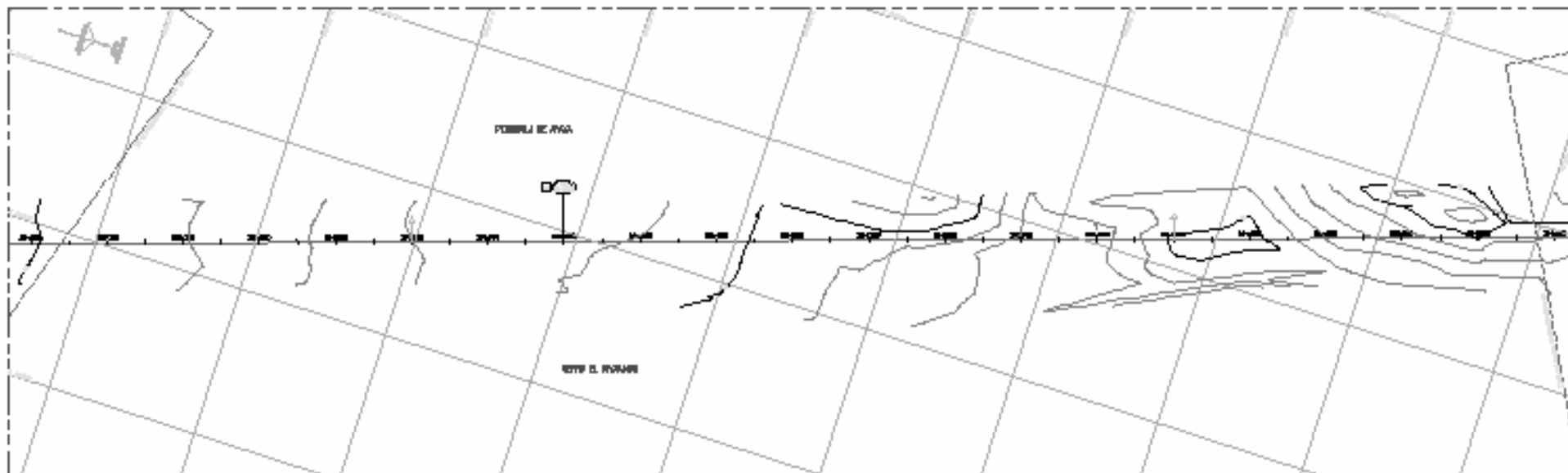
PLANO DE PRESENTACION					
No.	FECHA	FECHA	FECHA	TITULO	TITULO

AUTORIDAD		AUTORIDAD	
NOMBRE	FECHA	NOMBRE	FECHA

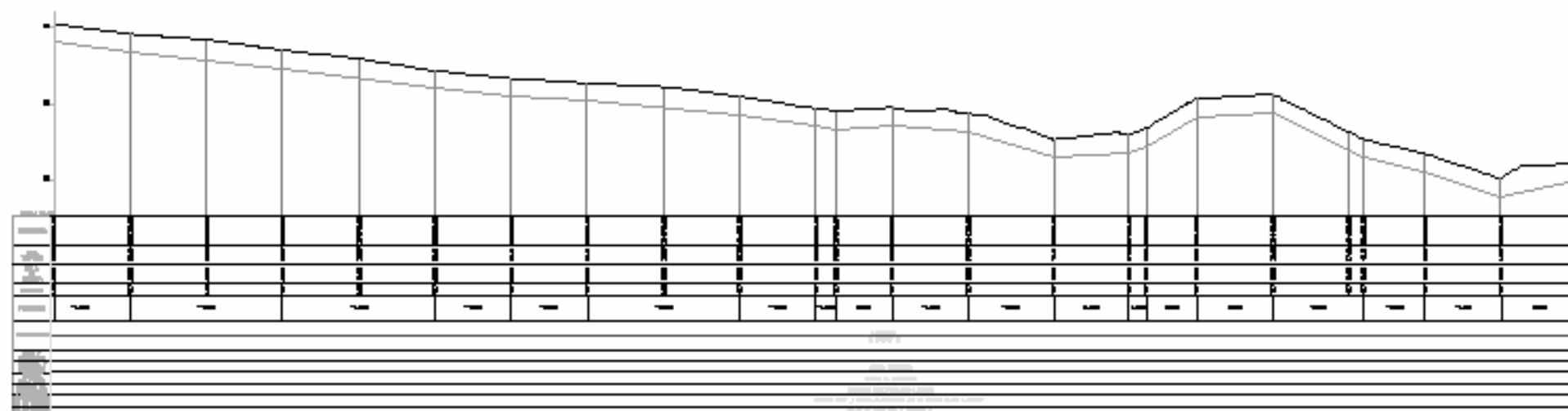
PROYECTO		PROYECTO	
NOMBRE	FECHA	NOMBRE	FECHA



INSTITUTO VENEZOLANO DE INVESTIGACIONES Y PROYECTOS DE INGENIERIA CIVIL
 PUNTO DE ALAMBRADO PARA SELECCIONAR TRAZADO PARA
 PUNTO Y PUNTO, CITE. NOROCCIONAL 7119849 Y 7219608
 PROYECTO: SELECCIONAR TRAZADO PARA SELECCIONAR TRAZADO
 FECHA: 2013-04-26



PLANO DE LA UNDA, M.C. TARDIA, A.P. CIVIL, PROYECTO 26+00 Y 26+00



PROFIL LONGITUDINAL UNDA, TARDIA, M.C. CIVIL, PROYECTO 26+00 Y 26+00



LEYENDA

- | | | | | | |
|--|---------------|--|------------------|--|-----------------------|
| | ALINEAMIENTO | | ANCHO DE CALZADA | | GRADO DE PENDIENTE |
| | LINEA CENTRAL | | BORDO DE CALZADA | | SUPERFICIE DE CALZADA |
| | ACERQUE | | DRENAJE | | ESTRUCTURA DE CALZADA |
| | INTERSECCION | | CANAL DE PASAJE | | PONTE |
| | TUNEL | | CAJON DE PASAJE | | ESTRUCTURA DE CALZADA |

NOTAS

1. Verificar el estado de conservación de la obra.
2. En caso de encontrar daños, reportarlos inmediatamente.
3. Mantener el área de obra limpia y libre de obstáculos.
4. Evitar el uso de maquinaria pesada en áreas sensibles.
5. En caso de lluvia, tomar precauciones para evitar accidentes.



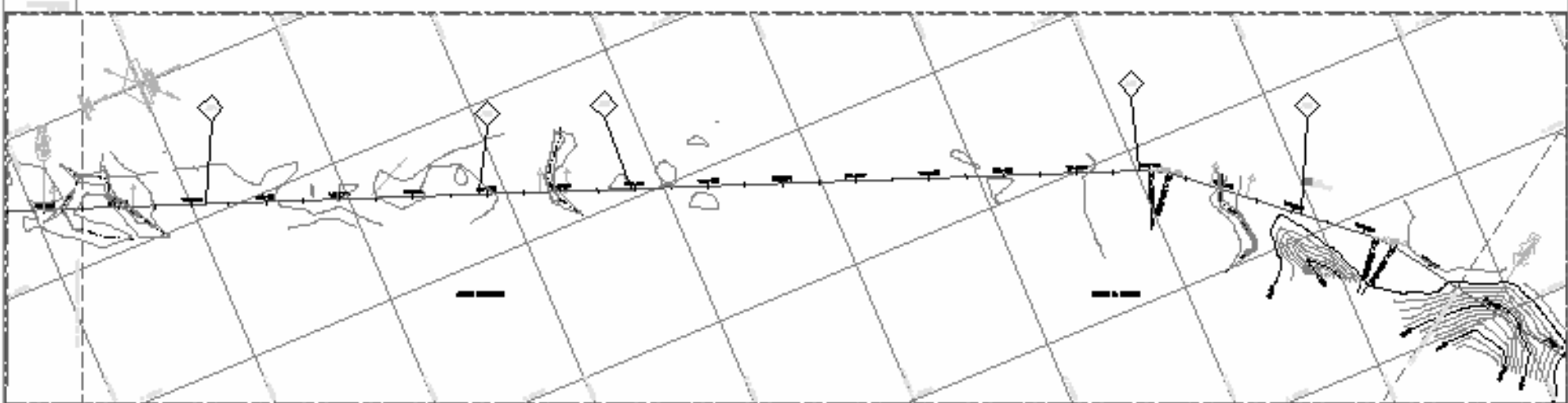
PLAN DE LOCALIZACION DEL PROYECTO

NO.	FECHA	ELABORADO	REVISADO	APROBADO	PROYECTO	CLIENTE	ESCALA	FECHA	ESTADO	PROYECTO	CLIENTE

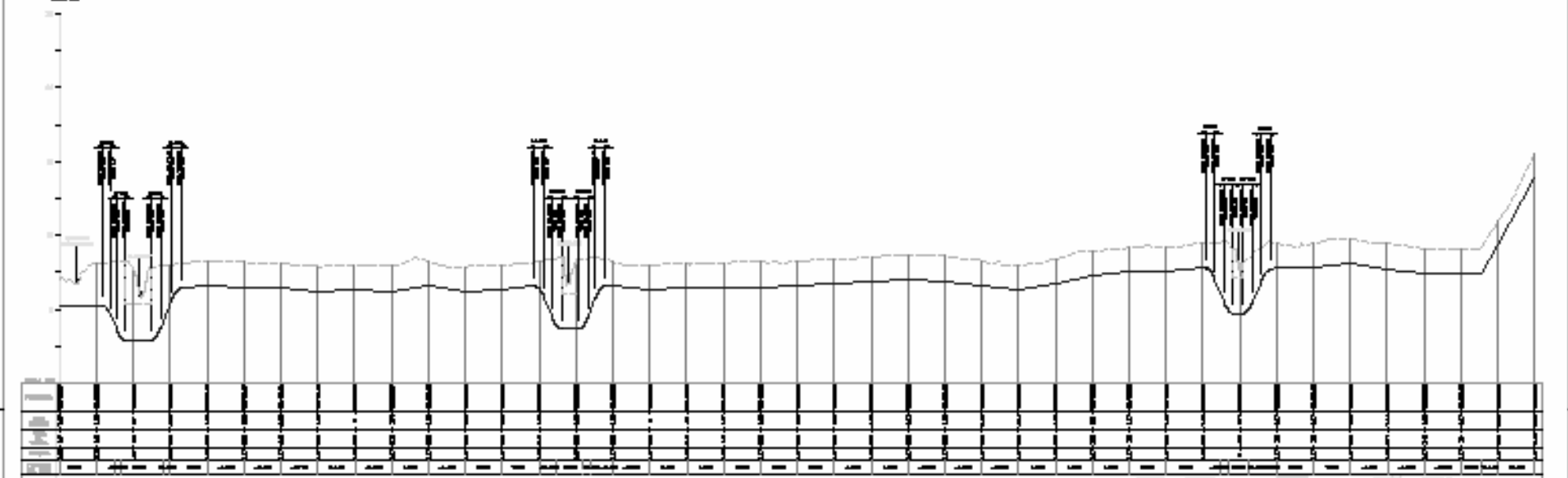
NO.	FECHA	TITULO	ESCALA	TITULO



COMERCIO INTERIOR-GRUPO-SEJ DE SERVICIOS
 FOMENTO VIAL DE LA COMUNIDAD AUTÓNOMA
 PLAN DE ALIQUOTACION DE TERRENO Y DE DISEÑO
 PLANO Y PERFIL LONGITUDINAL DEL PROYECTO DE OBRAS DE RECONSTRUCCION Y REPARACION
 DEL CAMINO DE LA UNDA



PLANO DE LA LÍNEA DE TENDÓN A 1:50000. ESTACIÓN PROGRESIVA 10+000 Y 10+500



ESTACIÓN PROGRESIVA		ESTACIÓN PROGRESIVA		ESTACIÓN PROGRESIVA		ESTACIÓN PROGRESIVA		ESTACIÓN PROGRESIVA	
10+000	10+050	10+100	10+150	10+200	10+250	10+300	10+350	10+400	10+450

PLANO DE LA LÍNEA DE TENDÓN A 1:50000. ESTACIÓN PROGRESIVA 10+000 Y 10+500

LEYENDA

ESTRUCTURA	ESTRUCTURA
[Symbol]	[Symbol]

LEYENDA

ESTRUCTURA	ESTRUCTURA
[Symbol]	[Symbol]

LEYENDA

ESTRUCTURA	ESTRUCTURA
[Symbol]	[Symbol]

LEYENDA

ESTRUCTURA	ESTRUCTURA
[Symbol]	[Symbol]

LEYENDA

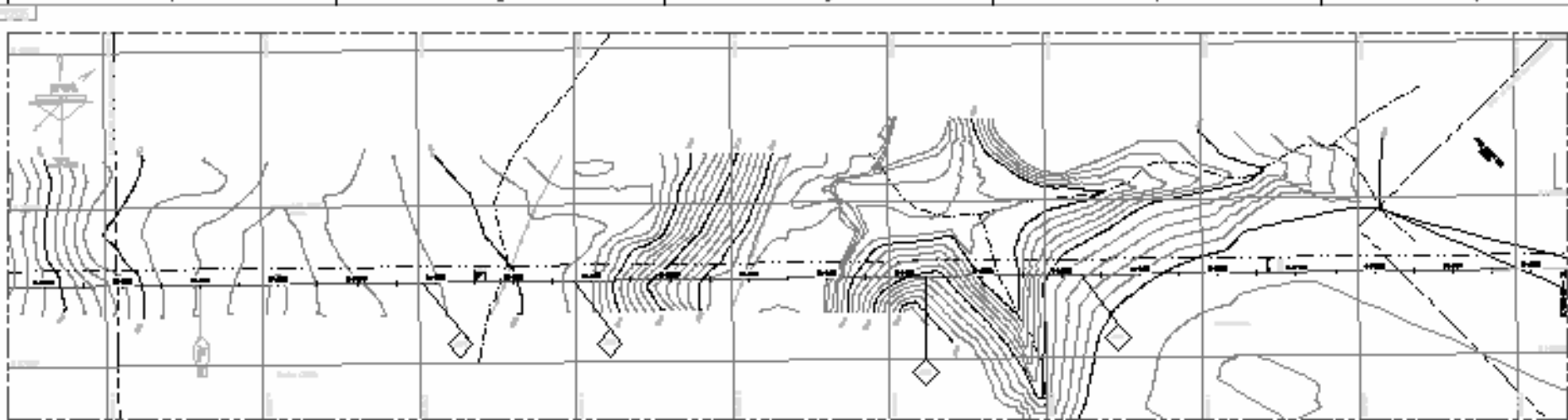
ESTRUCTURA	ESTRUCTURA
[Symbol]	[Symbol]



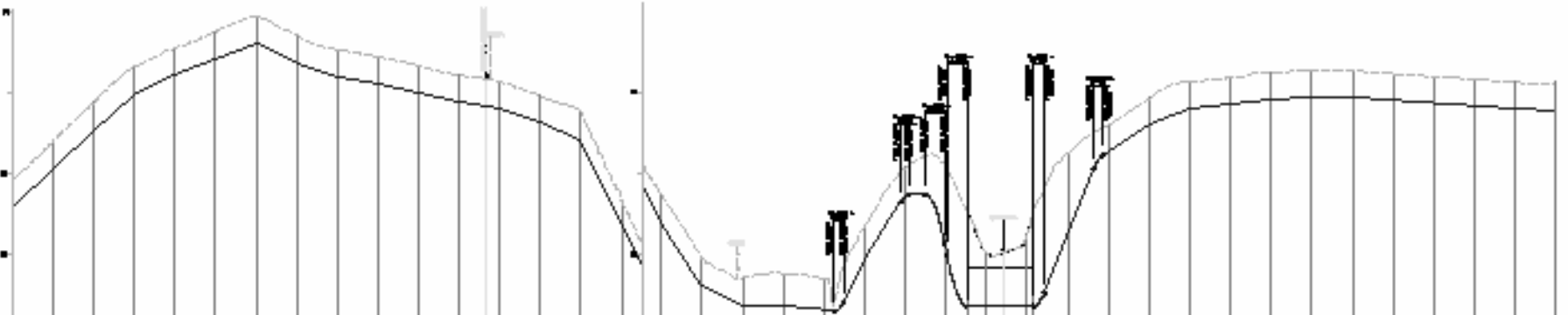
PLANO DE REPRESENTACIÓN		PLANO DE REPRESENTACIÓN		PLANO DE REPRESENTACIÓN		PLANO DE REPRESENTACIÓN	
TÍTULO	ESCALA	TÍTULO	ESCALA	TÍTULO	ESCALA	TÍTULO	ESCALA



INGENIERÍA CIVIL Y DE OBRAS
 INGENIERÍA DE OBRAS CIVILES (PROYECTO-CONSTRUCCIÓN)
 PLANOS Y PERFILES DE LA LÍNEA DE TENDÓN DEL
 SISTEMA PROGRESIVO DE TENDÓN Y TENDÓN



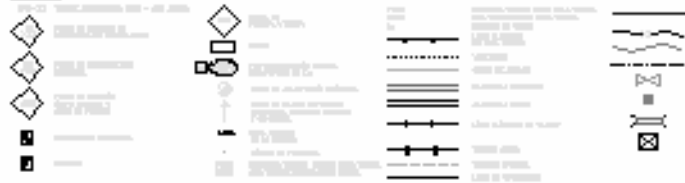
PLANTA DE LA LÍNEA DE DAMBA A 20' SOBRE EL NIVEL DEL RÍO Y BARRIO



ESTRUCTURA		MATERIAL		ESPESOR	
1	0.50	1	0.50	1	0.50
2	1.00	2	1.00	2	1.00
3	1.50	3	1.50	3	1.50
4	2.00	4	2.00	4	2.00
5	2.50	5	2.50	5	2.50
6	3.00	6	3.00	6	3.00
7	3.50	7	3.50	7	3.50
8	4.00	8	4.00	8	4.00
9	4.50	9	4.50	9	4.50
10	5.00	10	5.00	10	5.00
11	5.50	11	5.50	11	5.50
12	6.00	12	6.00	12	6.00
13	6.50	13	6.50	13	6.50
14	7.00	14	7.00	14	7.00
15	7.50	15	7.50	15	7.50
16	8.00	16	8.00	16	8.00
17	8.50	17	8.50	17	8.50
18	9.00	18	9.00	18	9.00
19	9.50	19	9.50	19	9.50
20	10.00	20	10.00	20	10.00

SECCION TRANSVERSAL DE LA DAMBA A 20' SOBRE EL NIVEL DEL RÍO Y BARRIO

LEYENDA



NOTAS

- Toda obra de construcción debe ser ejecutada de acuerdo a los planos aprobados por la autoridad competente.
- Toda obra de construcción debe ser ejecutada de acuerdo a las especificaciones técnicas de la obra.
- Toda obra de construcción debe ser ejecutada de acuerdo a las especificaciones técnicas de la obra.
- Toda obra de construcción debe ser ejecutada de acuerdo a las especificaciones técnicas de la obra.
- Toda obra de construcción debe ser ejecutada de acuerdo a las especificaciones técnicas de la obra.
- Toda obra de construcción debe ser ejecutada de acuerdo a las especificaciones técnicas de la obra.
- Toda obra de construcción debe ser ejecutada de acuerdo a las especificaciones técnicas de la obra.
- Toda obra de construcción debe ser ejecutada de acuerdo a las especificaciones técnicas de la obra.



PLAN GENERAL DE LOCALIZACIÓN

NO.	DESCRIPCIÓN	FECHA	ELABORADO	REVISADO	APROBADO	ESTADO	FECHA	ESTADO
1	PROYECTO	2024				PROYECTO		
2	DISEÑO	2024				DISEÑO		
3	CONSTRUCCIÓN	2024				CONSTRUCCIÓN		

BVBA

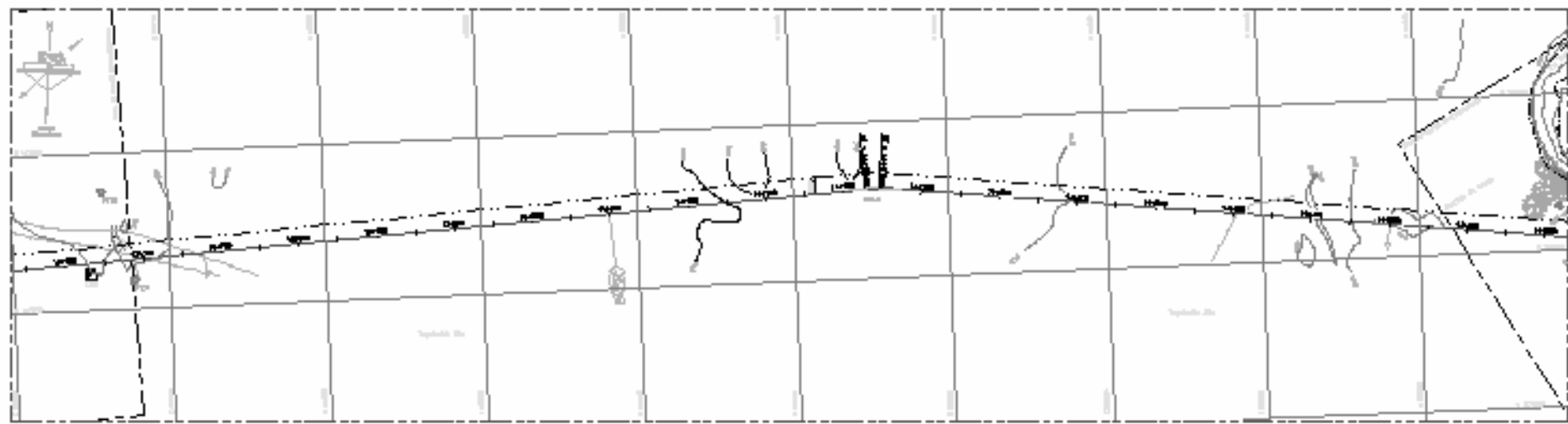
BUENOS VECES BUENAS OBRAS

BVBA

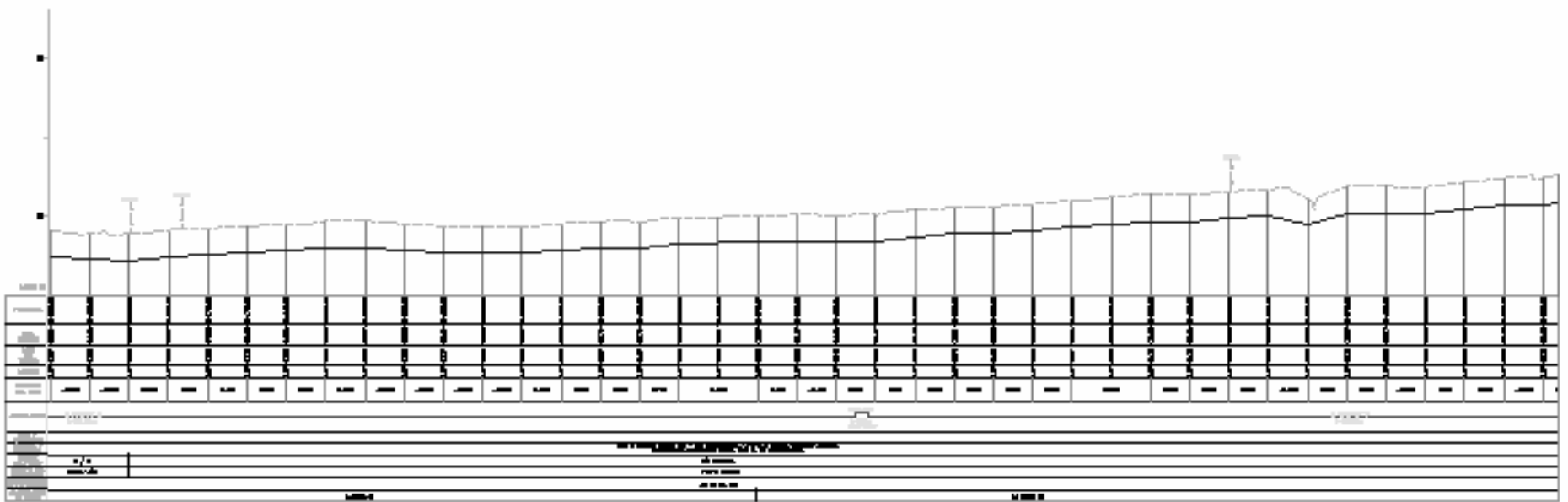
BUENOS VECES BUENAS OBRAS

BVBA

BUENOS VECES BUENAS OBRAS

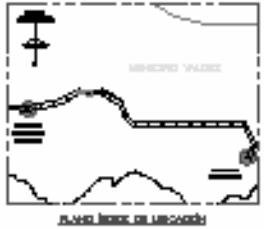


PLANO DE LA LÍNEA DE TUBERÍA 4" 1/2" PARA EVACUACIÓN DE AGUA Y RESIDUOS



LEYENDA DE MATERIALES PARA RECONSTRUCCIÓN DE LA CARRETERA

TIPO DE MATERIAL	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL
1	Grava para base	m ³	1.20	120.00
2	Grava para sub-base	m ³	1.00	100.00
3	Grava para sub-capa	m ³	0.80	80.00
4	Grava para capa de rodadura	m ³	1.50	150.00
5	Grava para capa de base	m ³	1.30	130.00
6	Grava para capa de sub-base	m ³	1.10	110.00
7	Grava para capa de sub-capa	m ³	0.90	90.00
8	Grava para capa de rodadura	m ³	1.40	140.00
9	Grava para capa de base	m ³	1.25	125.00
10	Grava para capa de sub-base	m ³	1.05	105.00
11	Grava para capa de sub-capa	m ³	0.85	85.00
12	Grava para capa de rodadura	m ³	1.45	145.00
13	Grava para capa de base	m ³	1.35	135.00
14	Grava para capa de sub-base	m ³	1.15	115.00
15	Grava para capa de sub-capa	m ³	0.95	95.00
16	Grava para capa de rodadura	m ³	1.55	155.00
17	Grava para capa de base	m ³	1.45	145.00
18	Grava para capa de sub-base	m ³	1.25	125.00
19	Grava para capa de sub-capa	m ³	1.05	105.00
20	Grava para capa de rodadura	m ³	1.65	165.00



NO.	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL
1	Grava para base	m ³	1.20	120.00
2	Grava para sub-base	m ³	1.00	100.00
3	Grava para sub-capa	m ³	0.80	80.00
4	Grava para capa de rodadura	m ³	1.50	150.00
5	Grava para capa de base	m ³	1.30	130.00
6	Grava para capa de sub-base	m ³	1.10	110.00
7	Grava para capa de sub-capa	m ³	0.80	80.00
8	Grava para capa de rodadura	m ³	1.50	150.00
9	Grava para capa de base	m ³	1.30	130.00
10	Grava para capa de sub-base	m ³	1.10	110.00
11	Grava para capa de sub-capa	m ³	0.80	80.00
12	Grava para capa de rodadura	m ³	1.50	150.00
13	Grava para capa de base	m ³	1.30	130.00
14	Grava para capa de sub-base	m ³	1.10	110.00
15	Grava para capa de sub-capa	m ³	0.80	80.00
16	Grava para capa de rodadura	m ³	1.50	150.00
17	Grava para capa de base	m ³	1.30	130.00
18	Grava para capa de sub-base	m ³	1.10	110.00
19	Grava para capa de sub-capa	m ³	0.80	80.00
20	Grava para capa de rodadura	m ³	1.50	150.00



INGENIERÍA CIVIL Y DE OBRAS
 INGENIERÍA DE VÍAS DE TERRESTRES (PÚBLICO-MERCADEO)
 PLANOS Y PERFILES DE VÍAS DE TERRESTRES (CALLE)
 SISTEMA PROYECTIVO (1:4000 Y 1:40000)

APÉNDICE B

INFORMES GEOTÉCNICOS

Estudios geológicos y geotécnicos del suelo

Es esencial conocer las propiedades fundamentales de los suelos presentes en la ruta del gasoducto para el desarrollo del trabajo de investigación, ya que permiten establecer principalmente los parámetros característicos, el grado de rigidez y la respuesta de éstos ante un evento sísmico. Para ello es necesario la realización de estudios de campo y ensayos de laboratorio a muestras de suelo obtenidas de perforaciones en la ruta perteneciente a la alineación del gasoducto para poder definir: El perfil geotécnico del terreno mediante la caracterización de los materiales presentes en el subsuelo, la ubicación del nivel freático y las condiciones del agua subterránea prevalecientes en el sitio y las condiciones generales del sitio que pudieran limitar la implantación de las instalaciones. La investigación realizada por una empresa contratista de PDVSA GAS comprendió los siguientes estudios y análisis:

- Exploración geotécnica en campo (Perforaciones, muestreo).
- Ejecución en laboratorio de ensayos sobre las muestras recuperadas.
- Interpretación de resultados de ensayos de campo y laboratorio.
- Definición de litología, parámetros relevantes del subsuelo y el nivel freático.
- Características geotécnicas y propiedades geomecánicas de los materiales presentes en el suelo de fundación.
- Evaluación de alternativas y selección del sistema más apropiado de fundación.
- Dibujo de láminas ilustrativas de aspectos geotécnicos relevantes al proyecto.
- Elaboración de especificaciones generales de construcción para la infraestructura.

CORRECCIÓN NÚMERO DE GOLPES DEL ENSAYO SPT POR SOBRECARGA Y ENERGÍA

N60

Valor del SPT corregido por sobrecarga y energía

Progresiva 4+000

Prof.	Clasificación Visual	Ncampo	P. Unit	U	s ^o esf. efectivo	CN	Ncorr	N60	c (Kg/cm ²) ó Φ(°)	Consistencia ó Compacidad
1	ARCILLA LIMOSA (CI) con arena fina, color marrón.	39	1,9	0	1,9	1,00	39	27	2,0	Rígida
2		35	1,9	0	3,8	1,62	57	40		Rígida
3		75	1,9	0	5,7	1,32	99	70		Rígida

Progresiva 11+000

Prof.	Clasificación Visual	Ncampo	P. Unit	U	s ^o esf. efectivo	CN	Ncorr	N60	c (Kg/cm ²) ó Φ(°)	Consistencia ó Compacidad
1	ARCILLA ARENOSA (CL), color marrón rojizo.	30	1,9	0	1,9	1,00	30	21	2,0	Rígida
2	ARCILLA LIMOSA (CI), con grava fina, color rojo.	70	1,9	0	3,8	1,62	114	79		Rígida
3		70	1,9	0	5,7	1,32	93	65		Rígida

Progresiva 12+000

Prof.	Clasificación Visual	Ncampo	P. Unit	U	s ^o esf. efectivo	CN	Ncorr	N60	c (Kg/cm ²) ó Φ(°)	Consistencia ó Compacidad
1	ARCILLA LIMOSA (CI) con arena fina, marrón.	40	1,9	0	1,9	1,00	40	28	2,0	Rígida
2	ARCILLA LIMOSA (CI), con grava, rojo y gris.	75	1,9	0	3,8	1,62	122	85		Rígida
3		80	1,9	0	5,7	1,32	106	74		Rígida

Progresiva 15+000 N 1.118.262,58 E 326.407,12

Prof.	Clasificación Visual	Ncampo	P. Unit	U	s ^o esf. efectivo	CN	Ncorr	N60	c (Kg/cm ²) ó Φ(°)	Consistencia ó Compacidad
1	ARCILLA (CH), rojo y gris, presencia de raicillas.	39	1,9	0	1,9	1,00	39	27	1,9	Rígida
2		35	1,9	0	3,8	1,62	57	40		Rígida
3		75	1,9	0	5,7	1,32	99	70		Rígida

Progresiva 16+000 N 1.118.783,49 E 325.671,50

Prof.	Clasificación Visual	Ncampo	P. Unit	U	s ^o esf. efectivo	CN	Ncorr	N60	c (Kg/cm ²) ó Φ(°)	Consistencia ó Compacidad
1	ARCILLA (CH), rojo y gris.	14	1,9	0	1,9	1,00	14	10	1,3	Semidura
2		23	1,9	0	3,8	1,62	37	26		Dura
3		30	1,9	0	5,7	1,32	40	28		Dura

Progresiva 17+000 N 1.119.605,62 E 325.525,62

Prof.	Clasificación Visual	Ncampo	P. Unit	U	s ^o esf. efectivo	CN	Ncorr	N60	c (Kg/cm ²) ó Φ(°)	Consistencia ó Compacidad
1	ARCILLA LIMOSA (CI) con arena fina, color marrón.	15	1,9	0	1,9	1,00	15	11	1,4	Semidura
2		36	1,9	0	3,8	1,62	58	41		Rígida
3		50	1,9	0	5,7	1,32	66	46		Rígida

CORRECCIÓN NÚMERO DE GOLPES DEL ENSAYO SPT POR SOBRECARGA Y ENERGÍA

Valor del SPT corregido por sobrecarga y energía

P073 Progresiva 73+725 Coordenadas N 1.143.587 E 359.515

Prof.	Clasificación Visual	Ncampo	P. Unit	U	\square^0 esf. efectivo	CN	Ncorr	N60	c (Kg/cm ²) ó Φ(°)	Consistencia ó Compacidad
1	ARENA LIMO-ARCILLOSA (SM-SC), marrón y rojizo, con grava (fragmentos de arenisca).	80	2,0	0	2,0	1,00	80	56	38°	Muy densa
2		78	2,0	0	4,0	1,58	123	86		Muy densa
3		80	2,0	0	6,0	1,29	103	72		Muy densa

P 074 Progresiva 74+725 Coordenadas N 1.144.355 E 360.094

Prof.	Clasificación Visual	Ncampo	P. Unit	U	\square^0 esf. efectivo	CN	Ncorr	N60	c (Kg/cm ²) ó Φ(°)	Consistencia ó Compacidad
1	ARENA LIMO-ARCILLOSA (SM-SC), marrón y rojizo, con grava (fragmentos de arenisca).	28	2,0	0	2,0	1,00	28	20	30°	Media
2		26	2,0	0	4,0	1,58	41	29	35°	Media
3		38	2,0	0	6,0	1,29	49	34		Densa

P 075 Progresiva 75+725 Coordenadas N 1.145.109 E 360.736

Prof.	Clasificación Visual	Ncampo	P. Unit	U	\square^0 esf. efectivo	CN	Ncorr	N60	c (Kg/cm ²) ó Φ(°)	Consistencia ó Compacidad
1	ARENA LIMOSA (SM), marrón amarillento, grava.	36	2,0	0	2,0	1,00	36	25	34°	Densa
2	ARENA ARCILLOSA (SC) con grava, marrón .	78	2,0	0	4,0	1,58	123	86	38°	Muy densa
3	GRAVA (GS) con arena, marrón amarillento.	75	2,0	0	6,0	1,29	97	68		Muy densa

P 081 Progresiva 80+900 Coordenadas N 1.145.788 E 361.440

Prof.	Clasificación Visual	Ncampo	P. Unit	U	\square^0 esf. efectivo	CN	Ncorr	N60	c (Kg/cm ²) ó Φ(°)	Consistencia ó Compacidad
1	ARENA LIMOSA (SM), rojo y gris, con grava.	34	2,0	0	2,0	1,00	34	24	37°	Densa
2	ARENA ARCILLOSA (SC), marrón rojizo, con grava.	22	2,0	0	4,0	1,58	35	24		Media
3	ARCILLA ARENOSA (CL), marrón, con grava.	36	2,0	0	6,0	1,29	46	33	38°	Rígida

P 082 Progresiva 82+000 Coordenadas N 1.146.365 E 362.246

Prof.	Clasificación Visual	Ncampo	P. Unit	U	\square^0 esf. efectivo	CN	Ncorr	N60	c (Kg/cm ²) ó Φ(°)	Consistencia ó Compacidad
1	ARCILLA ARENOSA (CL), marrón y gris.	46	1,9	0	1,9	1,00	46	32	2,0	Rígida
2	ARENA ARCILLOSA (SC), fina, rojo amarillento, con grava	5	1,9	0	3,8	1,62	8	6	29°	Suelta
3		11	1,9	0	5,7	1,32	15	10		Media

P 084 Progresiva 84+050 Coordenadas N 1.147.983 E 364.870

Prof.	Clasificación Visual	Ncampo	P. Unit	U	\square^0 esf. efectivo	CN	Ncorr	N60	c (Kg/cm ²) ó Φ(°)	Consistencia ó Compacidad
1	ARCILLA ARENOSA (CL), marrón oscuro, raicillas.	28	1,9	0	1,9	1,00	28	20	1,3	Dura
2	ARENA ARCILLOSA (SC)g, rojo amarillento.	59	1,9	0	3,8	1,62	96	67	38°	Muy densa
3	ARCILLA ARENOSA (CL), con grava, rojo y gris .	63	1,9	0	5,7	1,32	83	58	2,0	Rígida

P 085 Progresiva 85+000 Coordenadas N 1.149.485 E 370.109

Prof.	Clasificación Visual	Ncampo	P. Unit	U	\square^0 esf. efectivo	CN	Ncorr	N60	c (Kg/cm ²) ó Φ(°)	Consistencia ó Compacidad
1	ARCILLA ARENOSA (CL), marrón rojizo.	5	1,9	0	1,9	1,00	5	4	0,3	Media
2		8	1,9	0	3,8	1,62	13	9	0,8	Media
3		14	1,9	0	5,7	1,32	19	13		Semidura

CORRECCIÓN NÚMERO DE GOLPES DEL ENSAYO SPT POR SOBRECARGA Y ENERGÍA

N60

Valor del SPT corregido por sobrecarga y energía

ARAYA PA 1 Coordenadas N 1.175.435,29 E 404.977,73

Prof.	Clasificación Visual	Ncampo	P. Unit	U	□° esf. efectivo	CN	Ncorr	N60	c (Kg/cm ²) ó Φ(°)	Consistencia ó Compacidad	qa (Kg/cm ²)
1	ESQUISTO (Rmb), descompuesta en arena arcillo limosa, oliva amarillento y marrón.	68	2,0	0	2,0	1,00	68	48	37°	Muy densa	2,5
2		40	2,0	0	4,0	1,58	63	44		Densa	
3		63	2,0	0	6,0	1,29	81	57	38°	Muy densa	
4		68	2,0	0	8,0	1,12	76	53		Muy densa	
5		60	2,0	0	10,0	1,00	60	42	37°	Muy densa	
6		74	2,0	0	12,0	0,91	68	47		Muy densa	

ARAYA PA 2 Coordenadas N 1.175.460,56 E 405.005,95

Prof.	Clasificación Visual	Ncampo	P. Unit	U	□° esf. efectivo	CN	Ncorr	N60	c (Kg/cm ²) ó Φ(°)	Consistencia ó Compacidad	qa (Kg/cm ²)
1	ARENA ARCILLOSA (SC), color marrón, con grava, marrón, rojizo y amarillento.	62	2,0	0	2,0	1,00	62	43	37°	Muy densa	2,5
2		40	2,0	0	4,0	1,58	63	44		Densa	
3		68	2,0	0	6,0	1,29	88	61		Muy densa	
4		59	2,0	0	8,0	1,12	66	46		Muy densa	
5	ESQUISTOS (Rmb), micáceo, marrón amarillento.	61	2,0	0	10,0	1,00	61	43	37°	Muy densa	
6		76	2,0	0	12,0	0,91	69	49	38°	Muy densa	

ARAYA PA 3 Coordenadas N 1.174.702,87 E 405.005,95

Prof.	Clasificación Visual	Ncampo	P. Unit	U	□° esf. efectivo	CN	Ncorr	N60	c (Kg/cm ²) ó Φ(°)	Consistencia ó Compacidad	qa (Kg/cm ²)
1	ARENA LIMO-ARCILLOSA (SM-SC), rojizo y marrón amarillento.	22	2,0	0	2,0	1,00	22	15	31°	Media	2,3
2		48	2,0	0	4,0	1,58	76	53	38°	Densa	
3		66	2,0	0	6,0	1,29	85	60		Muy densa	

ARAYA PA 4 Coordenadas N 1.173.751,99 E 405.916,42

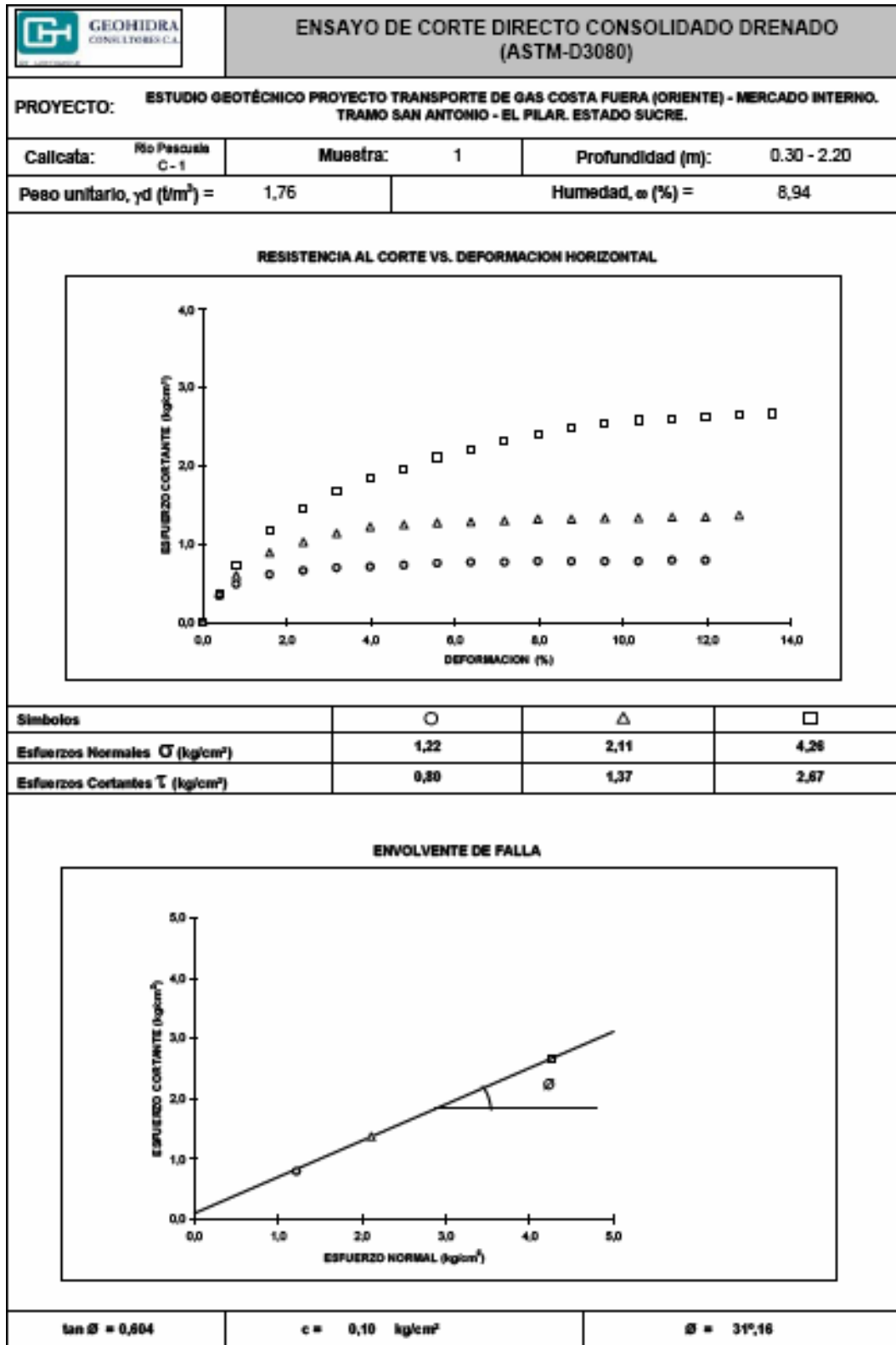
Prof.	Clasificación Visual	Ncampo	P. Unit	U	□° esf. efectivo	CN	Ncorr	N60	c (Kg/cm ²) ó Φ(°)	Consistencia ó Compacidad	qa (Kg/cm ²)
1	ARENA LIMO-ARCILLOSA (SM-SC), calcárea, marrón amarillento y marrón claro	23	2,0	0	2,0	1,00	23	16	31°	Media	2,3
2		56	2,0	0	4,0	1,58	89	62	38°	Muy densa	
3		67	2,0	0	6,0	1,29	86	61		Muy densa	

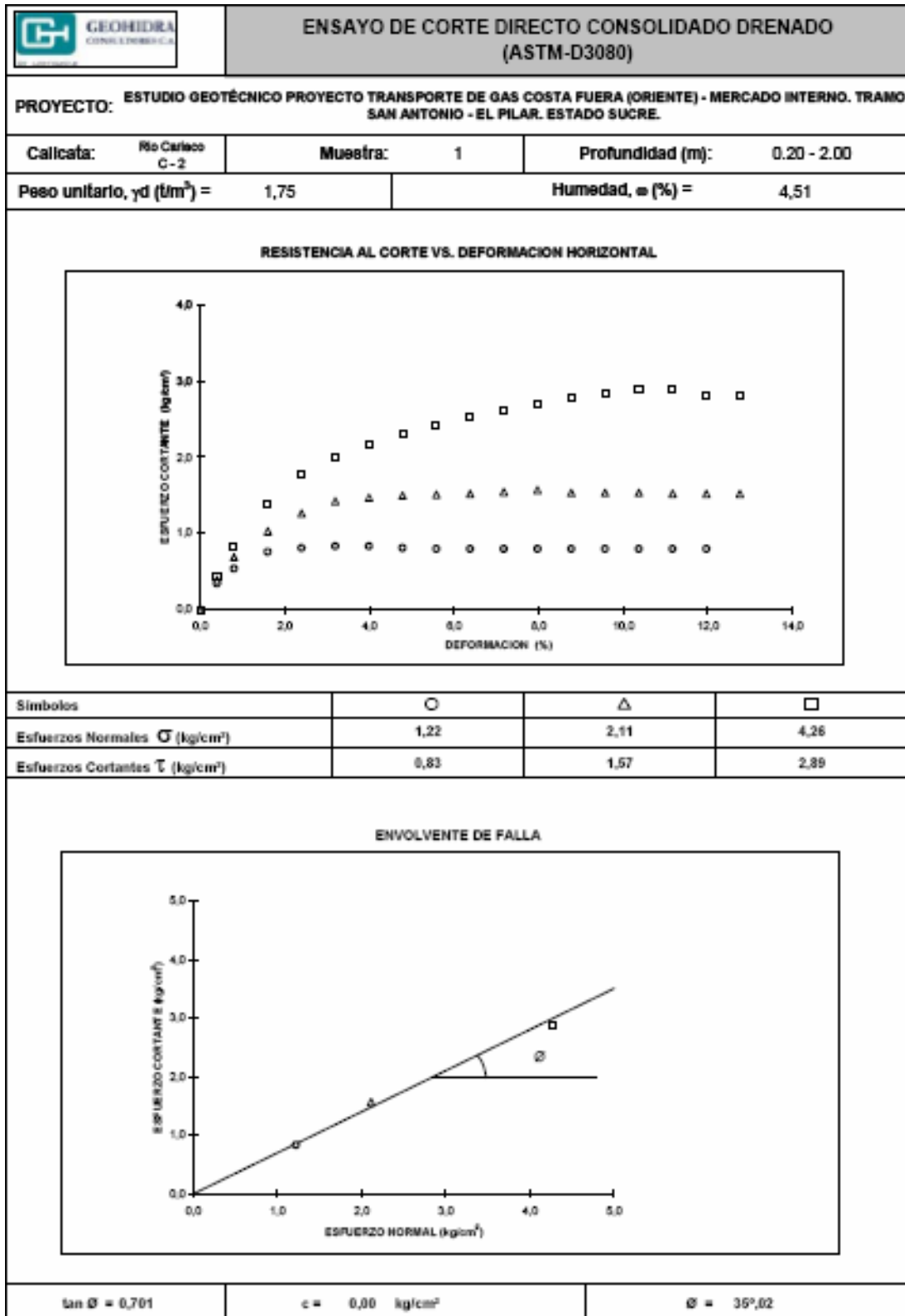
ARAYA PA 5 Coordenadas N 1.173.351,62 E 406.706,00

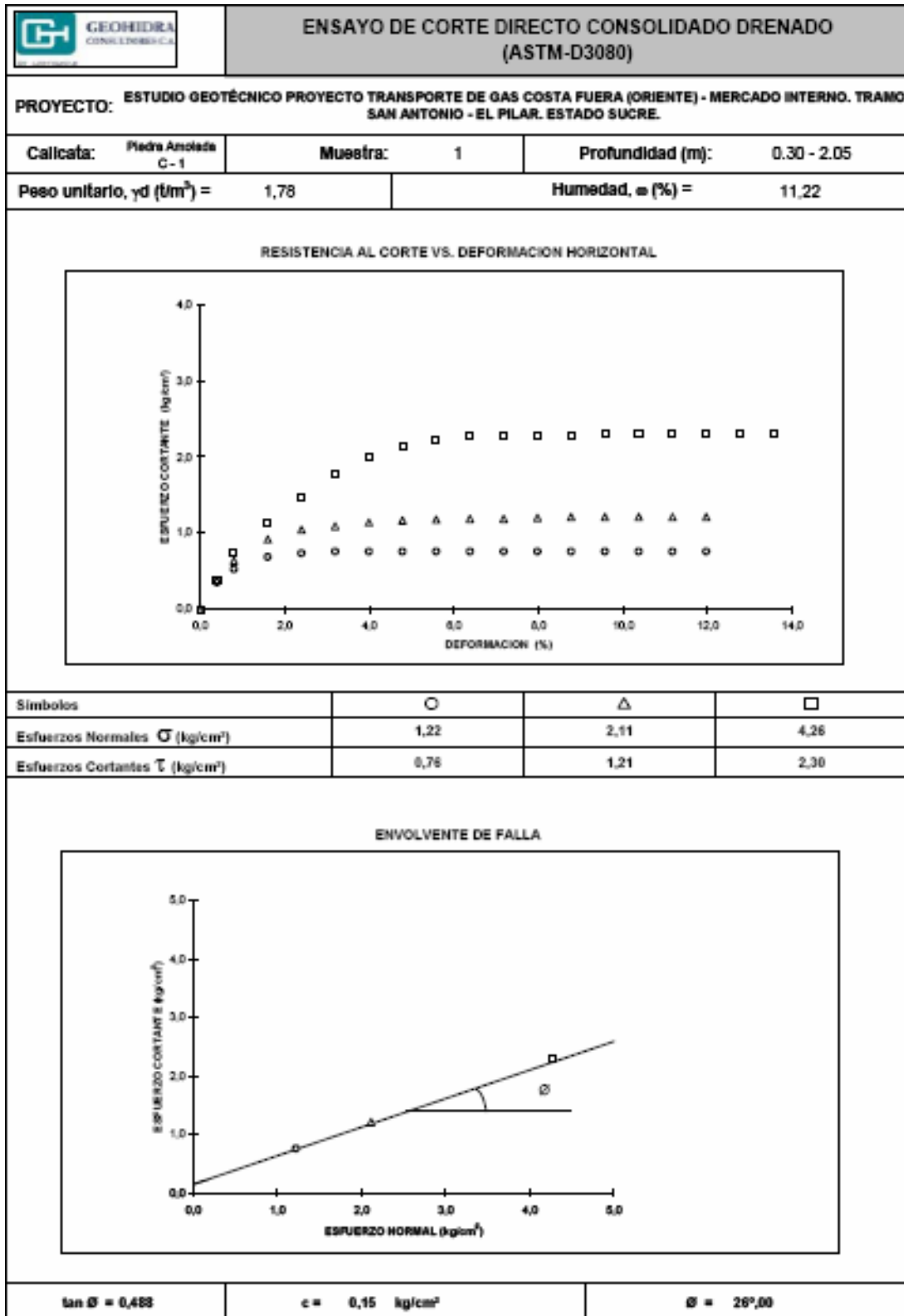
Prof.	Clasificación Visual	Ncampo	P. Unit	U	□° esf. efectivo	CN	Ncorr	N60	c (Kg/cm ²) ó Φ(°)	Consistencia ó Compacidad	qa (Kg/cm ²)
1	ARCILLA ARENO-LIMOSA (CL-CI), calcárea, marrón amarillento y gris.	36	2,0	0	2,0	1,00	36	25	1,7	Rígida	3,75
2		44	2,0	0	4,0	1,58	70	49	1,8	Rígida	
3	ARCILLA LIMOSA (CI), marrón amarillento.	30	2,0	0	6,0	1,29	39	27		Dura	

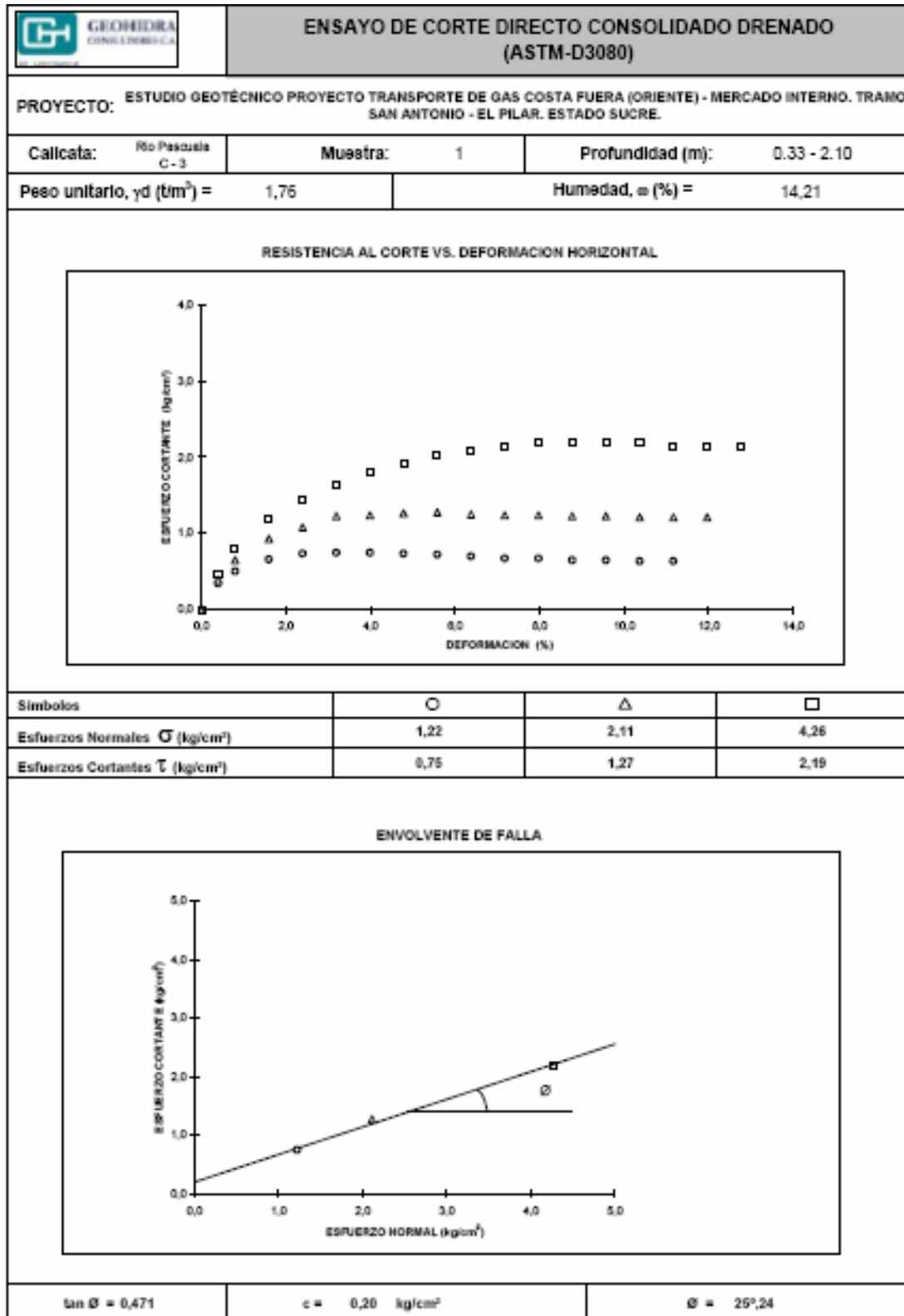
ARAYA PA 6 Coordenadas N 1.173.174,43 E 407.690,18

Prof.	Clasificación Visual	Ncampo	P. Unit	U	□° esf. efectivo	CN	Ncorr	N60	c (Kg/cm ²) ó Φ(°)	Consistencia ó Compacidad	qa (Kg/cm ²)
1	ARCILLA LIMOSA (CI), calcárea, marrón rojizo.	23	2,0	0	2,0	1,00	23	16	2,1	Dura	3,75
2	ARCILLA LIMOSA (CI), calcárea, con grava, rojo amarillento.	60	2,0	0	4,0	1,58	95	66	4,0	Rígida	
3		40	2,0	0	6,0	1,29	52	36		Rígida	









APÉNDICE C

CARACTERIZACIÓN SÍSMICA

Caracterización sísmica

A partir del estudio previo realizado por la Fundación Venezolana de Investigaciones Sismológicas (FUNVISIS) para el corredor del gasoducto SINORGAS, se reconocieron 12 cruces del tendido de la tubería con fallas consideradas activas o potencialmente activas distribuidas: 8 cruces en el Gasoducto Barbacoa-Cumaná-Isla de Margarita y 4 cruces en el gasoducto Güiría-San Antonio del Golfo. En la tabla C1 se presenta la ubicación aproximada de esas intersecciones expresadas en coordenadas UTM (Universal Translator Mercator). En dicha tabla se provee las características del plano de la falla (ángulos entre el plano de la falla-plano horizontal y entre la falla-alineación cardinal) y la cinemática de cada una de ellas, es decir el movimiento relativo entre las placas tectónicas en el sector de intersección con el tendido del gasoducto, lo que permite estimar como se vería afectada la tubería bajo esas condiciones.

Estimados de desplazamientos permanentes

Las deformaciones estimadas por la Fundación Venezolana de Investigaciones Sismológicas (FUNVISIS) se basaron en la información relativa a los parámetros de fallas o de los segmentos sismogénicos que eventualmente afectarían el tendido bajo estudio, fundamentalmente la velocidad del desplazamiento geológico promedio y los sismos máximos probables que se puedan generar en ellas. Se diferencian las deformaciones permanentes que pueden generarse en función de los parámetros sísmicos mencionados, y mediante el modelo de sismicidad generado para los estudios de amenaza sísmica, pueden estimarse las magnitudes correspondientes en cada falla. Las deformaciones permanentes esperadas en las fallas se calcularon aplicando correlaciones estadísticas establecidas mundialmente para sismos del mismo tipo (Well y Coppersmith). Como referencia general, evidenciando que no se

encuentra en un escenario de predicción exacta, y para dejar seguridad absoluta ante cualquier evento sísmico, en la tabla C2 se presentan los valores promedio de los desplazamientos críticos estimados en los cruces de fallas para los sismos máximos probables según la data geológica.

Tabla C1 Características de cruces de fallas reconocidos

Cruce	Falla	Coordenadas del Cruce		Características		
		Este	Norte	Rumbo	Buzamiento	Cinemática
CFBM-1	Urica (falla menor)	322503	1109950	N070°W	Elevado (>70°; al sur)	Dextral-Normal
CFBM-2	Urica (falla menor)	326121	1115980	N070°W	Bajo (30°-40°; al norte)	Inversa-Normal
CFBM-3	Urica (tramo norte)	325655	1119080	N060°W	Elevado (>70°; al sur)	Dextral
CFBM-4	Urica (tramo norte)	325244	1120470	N060°W	Elevado (>70°; al sur)	Dextral
CFBM-5	Urica (falla menor)	325052	1121790	Este-Oeste	Bajo (30°; al norte)	Inversa
CFBM-6	Urica (falla menor)	325107	1122610	N080°W	Bajo (30°; al norte)	Inversa
CFBM-7	San Francisco (tramo norte)	358946	1142320	Este-Oeste	Sub-vertical	Dextral
CFBM-8	Laguna Grande (sector NE)	405894	1173830	N075°W	Elevado (>80°; al sur)	Siniestral-Inversa
CFGGS-1	El Pilar Guiria	485212	1163273	Este-Oeste	Elevado (>70° al sur)	Dextral (Normal)
CFGGS-2	Los Bajos (Extremo Norte)	566689	1169902	N040°W	Alto (60°; al norte)	Dextral-Normal
CFGGS-3	Cola de Caballo los Bajos W	563108	1172085	Norte-Sur	Elevado (60°; al oeste)	Normal
CFGGS-4	Cola de Caballo los Bajos centro	569628	1169902	Norte-Sur	Elevado (60°; al oeste)	Normal

Tabla C2 Desplazamientos cosísmicos críticos en los cruces de fallas

Cruce	Falla	Desplazamiento critico (m)	
		Horizontal	Vertical
CFBM-1	Urica (falla menor)	0.05	0.01
CFBM-2	Urica (falla menor)	0.03	0.04
CFBM-3	Urica (tramo norte)	0.61	-
CFBM-4	Urica (tramo norte)	0.61	-
CFBM-5	Urica (falla menor)	-	0.05
CFBM-6	Urica (falla menor)	-	0.05
CFBM-7	San Francisco (tramo norte)	0.40	-
CFBM-8	Laguna Grande (sector NE)	0.65	0.29
CFGS-1	El Pilar	1.92	-
CFGS-2	Los Bajos (Extremo Norte)	0.65	0.65
CFGS-3	Cola de Caballo los Bajos W	-	0.20
CFGS-4	Cola de Caballo los Bajos centro	-	0.20

Espectros de aceleraciones del suelo

Los espectros de amenaza sísmica uniforme suministrados por FUNVISIS para los puntos de los cruces de fallas situados sobre el gasoducto resultaron del promedio de las leyes de atenuación para cálculos de aceleraciones espectrales en roca en función de sus amplitudes. La caracterización del terreno equivale a efectos prácticos a la clasificación del suelo. Estos son espectros de respuesta elástica horizontal que dependen del período estructural, pero son independientes de la magnitud y distancia de cada uno de los eventos que contribuyen al valor de la frecuencia de excedencia de una aceleración calculada. En la tabla C3 se listan los valores de los espectros medios obtenidos en los puntos del gasoducto ordenados según su trayecto. En los primeros seis cruces de fallas las aceleraciones espectrales son equivalentes debido a que la Fundación Venezolana de Investigaciones Sismológicas realizó un solo estudio de

amenaza sísmica entre las estaciones de válvulas Barbacoa (BM-10) y Provisor (BM-11).

Tabla C3 Aceleraciones espectrales (g) en los cruces de fallas según el período estructural

Cruce	Período estructural (s)									
	0.01	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.75	1	2	4
CFBM-1	0.804	1.612	1.836	1.583	1.331	1.078	0.723	0.528	0.222	0.078
CFBM-2	0.804	1.612	1.836	1.583	1.331	1.078	0.723	0.528	0.222	0.078
CFBM-3	0.804	1.612	1.836	1.583	1.331	1.078	0.723	0.528	0.222	0.078
CFBM-4	0.804	1.612	1.836	1.583	1.331	1.078	0.723	0.528	0.222	0.078
CFBM-5	0.804	1.612	1.836	1.583	1.331	1.078	0.723	0.528	0.222	0.078
CFBM-6	0.804	1.612	1.836	1.583	1.331	1.078	0.723	0.528	0.222	0.078
CFBM-7	0.694	1.386	1.612	1.441	1.235	1.037	0.724	0.547	0.245	0.090
CFBM-8	0.789	1.576	1.881	1.698	1.463	1.246	0.872	0.653	0.290	0.105
CFGS-1	1.674	3.497	4.210	3.708	3.187	2.692	1.890	1.440	0.616	0.215
CFGS-2	1.322	2.752	3.205	2.802	2.374	2.011	1.376	1.039	0.448	0.158
CFGS-3	1.259	2.616	3.042	2.640	2.241	1.886	1.288	0.974	0.421	0.149
CFGS-4	1.198	2.477	2.917	2.551	2.182	1.843	1.263	0.960	0.419	0.149

APÉNDICE D

REPORTES DE SIMULACIÓN

ANÁLISIS ESTÁTICO (DEFORMACION PERMANENTE DEL SUELO)

CFBM-1

```

CAESAR II   STRESS REPORT           FILE:URICA (FALLA
CASE 3 (OCC) W+D1+T1+P1
****          CODE STRESS CHECK PASSED
PIPING CODE: B31.8 -1999, November 16, 2001
HIGHEST STRESSES: (   KPa   ) T=0.688"
CODE STRESS %:           45.44 @NODE    39
      STRESS:           152740.4 ALLOWABLE: 336119.4
BENDING STRESS:           29036.4 @NODE    20
TORSIONAL STRESS:           120.3 @NODE    51
AXIAL STRESS:             149041.4 @NODE    40
HOOP STRESS:              208253.5 @NODE    20
3D MAX INTENSITY:         320849.2 @NODE    49

```

```

****          CODE STRESS CHECK PASSED
PIPING CODE: B31.8 -1999, November 16, 2001
HIGHEST STRESSES: (   KPa   ) T=0.562"
CODE STRESS %:           55.64 @NODE    39
      STRESS:           187003.0 ALLOWABLE: 336119.4
BENDING STRESS:           32463.1 @NODE    20
TORSIONAL STRESS:           145.7 @NODE    51
AXIAL STRESS:             182686.9 @NODE    40
HOOP STRESS:              256809.0 @NODE    20
3D MAX INTENSITY:         353707.9 @NODE    49

```

CFBM-2

```

CAESAR II   STRESS REPORT           FILE:URICA (FALLA
CASE 3 (OCC) W+D1+T1+P1
****          CODE STRESS CHECK PASSED
PIPING CODE: B31.8 -1999, November 16, 2001
HIGHEST STRESSES: (   KPa   ) T=0.688"
CODE STRESS %:           36.54 @NODE    20
      STRESS:           122808.5 ALLOWABLE: 336119.4
BENDING STRESS:           28996.5 @NODE    20
TORSIONAL STRESS:           170.1 @NODE    51
AXIAL STRESS:             104244.4 @NODE    40
HOOP STRESS:              208253.5 @NODE    20
3D MAX INTENSITY:         253861.5 @NODE    49

```

```

****          CODE STRESS CHECK PASSED
PIPING CODE: B31.8 -1999, November 16, 2001
HIGHEST STRESSES: (   KPa   ) T=0.562"
CODE STRESS %:           44.46 @NODE    20
      STRESS:           149451.6 ALLOWABLE: 336119.4
BENDING STRESS:           32427.1 @NODE    20
TORSIONAL STRESS:           207.4 @NODE    51

```

AXIAL STRESS: 132617.2 @NODE 40
 HOOP STRESS: 256809.0 @NODE 20
 3D MAX INTENSITY: 283896.8 @NODE 49

CFBM-3

CAESAR II STRESS REPORT FILE:URICA (TRAMO)
 CASE 3 (OCC) W+D1+T1+P1

**** CODE STRESS CHECK PASSED
 PIPING CODE: B31.8 -1999, November 16, 2001
 HIGHEST STRESSES: (KPa) T=0.688"
 CODE STRESS %: 64.19 @NODE 20
 STRESS: 215756.8 ALLOWABLE: 336119.4
 BENDING STRESS: 125528.5 @NODE 20
 TORSIONAL STRESS: 334.9 @NODE 49
 AXIAL STRESS: 126368.8 @NODE 200
 HOOP STRESS: 256809.0 @NODE 2000
 3D MAX INTENSITY: 269286.8 @NODE 90

**** CODE STRESS CHECK PASSED
 PIPING CODE: B31.8 -1999, November 16, 2001
 HIGHEST STRESSES: (KPa) T=0.562"
 CODE STRESS %: 75.35 @NODE 20
 STRESS: 253273.7 ALLOWABLE: 336119.4
 BENDING STRESS: 140336.7 @NODE 20
 TORSIONAL STRESS: 306.8 @NODE 49
 AXIAL STRESS: 126368.8 @NODE 200
 HOOP STRESS: 256809.0 @NODE 20
 3D MAX INTENSITY: 298967.0 @NODE 20

CFBM-4

CAESAR II STRESS REPORT FILE:URICA (TRAMO)
 CASE 3 (OCC) W+D1+T1+P1

**** CODE STRESS CHECK PASSED
 PIPING CODE: B31.8 -1999, November 16, 2001
 HIGHEST STRESSES: (KPa) T=0.688"
 CODE STRESS %: 64.29 @NODE 20
 STRESS: 216106.7 ALLOWABLE: 336119.4
 BENDING STRESS: 125527.7 @NODE 20
 TORSIONAL STRESS: 554.3 @NODE 49
 AXIAL STRESS: 126368.8 @NODE 200
 HOOP STRESS: 256809.0 @NODE 2000
 3D MAX INTENSITY: 269290.2 @NODE 90

**** CODE STRESS CHECK PASSED
 PIPING CODE: B31.8 -1999, November 16, 2001
 HIGHEST STRESSES: (KPa) T=0.562"
 CODE STRESS %: 75.46 @NODE 20
 STRESS: 253634.0 ALLOWABLE: 336119.4
 BENDING STRESS: 140335.0 @NODE 20
 TORSIONAL STRESS: 507.7 @NODE 49
 AXIAL STRESS: 126368.8 @NODE 200

HOOP STRESS: 256809.0 @NODE 20
 3D MAX INTENSITY: 297779.4 @NODE 20

CFBM-5

CAESAR II STRESS REPORT FILE:URICA (FALLA
 CASE 3 (OCC) W+D1+T1+P1

**** CODE STRESS CHECK PASSED
 PIPING CODE: B31.8 -1999, November 16, 2001
 HIGHEST STRESSES: (KPa) T=0.688"
 CODE STRESS %: 54.35 @NODE 20
 STRESS: 182696.4 ALLOWABLE: 336119.4
 BENDING STRESS: 93659.7 @NODE 20
 TORSIONAL STRESS: 614.9 @NODE 50
 AXIAL STRESS: 112147.5 @NODE 2000
 HOOP STRESS: 208253.5 @NODE 20
 3D MAX INTENSITY: 236726.3 @NODE 20

**** CODE STRESS CHECK PASSED
 PIPING CODE: B31.8 -1999, November 16, 2001
 HIGHEST STRESSES: (KPa) T=0.562"
 CODE STRESS %: 64.47 @NODE 20
 STRESS: 216699.6 ALLOWABLE: 336119.4
 BENDING STRESS: 104716.3 @NODE 20
 TORSIONAL STRESS: 687.8 @NODE 50
 AXIAL STRESS: 147122.9 @NODE 2000
 HOOP STRESS: 256809.0 @NODE 20
 3D MAX INTENSITY: 274837.1 @NODE 20

CFBM-6

CAESAR II STRESS REPORT FILE:URICA (FALLA
 CASE 3 (OCC) W+D1+T1+P1

**** CODE STRESS CHECK PASSED
 PIPING CODE: B31.8 -1999, November 16, 2001
 HIGHEST STRESSES: (KPa) T=0.688"
 CODE STRESS %: 54.36 @NODE 20
 STRESS: 182718.8 ALLOWABLE: 336119.4
 BENDING STRESS: 93661.8 @NODE 20
 TORSIONAL STRESS: 615.3 @NODE 50
 AXIAL STRESS: 102098.9 @NODE 170
 HOOP STRESS: 208253.5 @NODE 20
 3D MAX INTENSITY: 236643.6 @NODE 20

**** CODE STRESS CHECK PASSED
 PIPING CODE: B31.8 -1999, November 16, 2001
 HIGHEST STRESSES: (KPa) T=0.562"
 CODE STRESS %: 64.48 @NODE 20
 STRESS: 216717.7 ALLOWABLE: 336119.4
 BENDING STRESS: 104718.0 @NODE 20
 TORSIONAL STRESS: 688.0 @NODE 50
 AXIAL STRESS: 126368.8 @NODE 170
 HOOP STRESS: 256809.0 @NODE 20

3D MAX INTENSITY: 274775.0 @NODE 20

CFBM-7

CAESAR II STRESS REPORT FILE:SAN FRANCISCO
CASE 3 (OCC) W+D1+T1+P1

**** CODE STRESS CHECK PASSED
PIPING CODE: B31.8 -1999, November 16, 2001
HIGHEST STRESSES: (KPa) T=0.688"
CODE STRESS %: 64.29 @NODE 20
STRESS: 216106.7 ALLOWABLE: 336119.4
BENDING STRESS: 125527.7 @NODE 20
TORSIONAL STRESS: 554.3 @NODE 49
AXIAL STRESS: 126368.8 @NODE 200
HOOP STRESS: 256809.0 @NODE 2000
3D MAX INTENSITY: 269290.2 @NODE 90

**** CODE STRESS CHECK PASSED
PIPING CODE: B31.8 -1999, November 16, 2001
HIGHEST STRESSES: (KPa) T=0.562"
CODE STRESS %: 75.46 @NODE 20
STRESS: 253634.0 ALLOWABLE: 336119.4
BENDING STRESS: 140335.0 @NODE 20
TORSIONAL STRESS: 507.7 @NODE 49
AXIAL STRESS: 126368.8 @NODE 200
HOOP STRESS: 256809.0 @NODE 20
3D MAX INTENSITY: 297779.4 @NODE 20

CFBM-8

CAESAR II STRESS REPORT FILE:LAGUNA GRANDE
CASE 3 (OCC) W+D1+T1+P1

**** CODE STRESS CHECK PASSED
PIPING CODE: B31.8 -1999, November 16, 2001
HIGHEST STRESSES: (KPa) T=0.688"
CODE STRESS %: 60.87 @NODE 20
STRESS: 122808.5 ALLOWABLE: 201739.7
BENDING STRESS: 28996.5 @NODE 20
TORSIONAL STRESS: 170.1 @NODE 51
AXIAL STRESS: 104244.4 @NODE 40
HOOP STRESS: 208253.5 @NODE 20
3D MAX INTENSITY: 253861.5 @NODE 49

**** CODE STRESS CHECK PASSED
PIPING CODE: B31.8 -1999, November 16, 2001
HIGHEST STRESSES: (KPa) T=0.562"
CODE STRESS %: 74.08 @NODE 20
STRESS: 149451.6 ALLOWABLE: 201739.7
BENDING STRESS: 32427.1 @NODE 20
TORSIONAL STRESS: 207.4 @NODE 51
AXIAL STRESS: 132617.2 @NODE 40
HOOP STRESS: 256809.0 @NODE 20
3D MAX INTENSITY: 283896.8 @NODE 49

CFGS-1

CAESAR II STRESS REPORT FILE:EL PILARB

CASE 3 (OCC) W+D1+T1+P1

```

****          CODE STRESS CHECK PASSED
PIPING CODE: B31.8 -1999, November 16, 2001
HIGHEST STRESSES: (   KPa   ) T=0.688"
CODE STRESS %:          73.57 @NODE 1000
    STRESS:          247271.8 ALLOWABLE: 336119.4
BENDING STRESS:          72836.6 @NODE 1000
TORSIONAL STRESS:        4171.8 @NODE 89
AXIAL STRESS:          174434.8 @NODE 1000
HOOP STRESS:           208253.5 @NODE 19
3D MAX INTENSITY:       378517.0 @NODE 1000

```

```

****          CODE STRESS CHECK PASSED
PIPING CODE: B31.8 -1999, November 16, 2001
HIGHEST STRESSES: (   KPa   ) T=0.562"
CODE STRESS %:          85.77 @NODE 1000
    STRESS:          288276.7 ALLOWABLE: 336119.4
BENDING STRESS:          75180.0 @NODE 1000
TORSIONAL STRESS:        4096.3 @NODE 39
AXIAL STRESS:          213097.1 @NODE 1000
HOOP STRESS:           256809.0 @NODE 19
3D MAX INTENSITY:       413868.1 @NODE 1000

```

CFGS-2

CAESAR II STRESS REPORT FILE:LOS BAJOSB

CASE 3 (OCC) W+D1+T1+P1

```

****          CODE STRESS CHECK PASSED
PIPING CODE: B31.8 -1999, November 16, 2001
HIGHEST STRESSES: (   KPa   ) T=0.688"
CODE STRESS %:          60.75 @NODE 1000
    STRESS:          204185.6 ALLOWABLE: 336119.4
BENDING STRESS:          52263.8 @NODE 19
TORSIONAL STRESS:        2332.2 @NODE 39
AXIAL STRESS:          157164.2 @NODE 1000
HOOP STRESS:           208253.5 @NODE 19
3D MAX INTENSITY:       324770.6 @NODE 1000

```

```

****          CODE STRESS CHECK PASSED
PIPING CODE: B31.8 -1999, November 16, 2001
HIGHEST STRESSES: (   KPa   ) T=0.562"
CODE STRESS %:          71.60 @NODE 1000
    STRESS:          240671.8 ALLOWABLE: 336119.4
BENDING STRESS:          58075.0 @NODE 19
TORSIONAL STRESS:        2298.7 @NODE 39
AXIAL STRESS:          191313.1 @NODE 1000
HOOP STRESS:           256809.0 @NODE 19
3D MAX INTENSITY:       359720.2 @NODE 1000

```

CFGS-3

CAESAR II STRESS REPORT FILE:COLA DE CABAL
CASE 3 (OCC) W+D1+T1+P1
**** CODE STRESS CHECK PASSED
PIPING CODE: B31.8 -1999, November 16, 2001
HIGHEST STRESSES: (KPa) T=0.688"
CODE STRESS %: 47.79 @NODE 20
STRESS: 160622.8 ALLOWABLE: 336119.4
BENDING STRESS: 73464.9 @NODE 20
TORSIONAL STRESS: 1.9 @NODE 70
AXIAL STRESS: 102098.9 @NODE 90
HOOP STRESS: 208253.5 @NODE 20
3D MAX INTENSITY: 225818.8 @NODE 20

**** CODE STRESS CHECK PASSED
PIPING CODE: B31.8 -1999, November 16, 2001
HIGHEST STRESSES: (KPa) T=0.562"
CODE STRESS %: 57.17 @NODE 20
STRESS: 192165.5 ALLOWABLE: 336119.4
BENDING STRESS: 82140.7 @NODE 20
TORSIONAL STRESS: 2.0 @NODE 70
AXIAL STRESS: 126368.8 @NODE 90
HOOP STRESS: 256809.0 @NODE 20
3D MAX INTENSITY: 269285.1 @NODE 20

CFGS-4

CAESAR II STRESS REPORT FILE:COLA DE CABAL
CASE 3 (OCC) W+D1+T1+P1
**** CODE STRESS CHECK PASSED
PIPING CODE: B31.8 -1999, November 16, 2001
HIGHEST STRESSES: (KPa) T=0.688"
CODE STRESS %: 53.76 @NODE 1000
STRESS: 180714.2 ALLOWABLE: 336119.4
BENDING STRESS: 117675.4 @NODE 1000
TORSIONAL STRESS: 32.2 @NODE 1000
AXIAL STRESS: 126368.8 @NODE 90
HOOP STRESS: 256809.0 @NODE 2000
3D MAX INTENSITY: 269285.1 @NODE 2000

**** CODE STRESS CHECK PASSED
PIPING CODE: B31.8 -1999, November 16, 2001
HIGHEST STRESSES: (KPa) T=0.562"
CODE STRESS %: 60.02 @NODE 1000
STRESS: 201727.7 ALLOWABLE: 336119.4
BENDING STRESS: 117449.6 @NODE 1000
TORSIONAL STRESS: 31.9 @NODE 1000
AXIAL STRESS: 126368.8 @NODE 90
HOOP STRESS: 256809.0 @NODE 20
3D MAX INTENSITY: 290527.8 @NODE 1000

ANÁLISIS DINÁMICO (ESPECTRO DE FRECUENCIAS)

CFBM-1

HIGHEST STRESSES: (KPa) T=0.688"
 CODE STRESS: 272941.0 @NODE 20
 BENDING STRESS: 1963.9 @NODE 29
 TORSIONAL STRESS: 10.8 @NODE 30
 AXIAL STRESS: 272389.4 @NODE 10
 3D MAX INTENSITY: 272941.0 @NODE 20

HIGHEST STRESSES: (KPa) T=0.562"
 CODE STRESS: 298799.8 @NODE 20
 BENDING STRESS: 2027.5 @NODE 29
 TORSIONAL STRESS: 11.1 @NODE 30
 AXIAL STRESS: 298212.0 @NODE 10
 3D MAX INTENSITY: 298799.8 @NODE 20

CFBM-2

HIGHEST STRESSES: (KPa) T=0.688"
 CODE STRESS: 277939.7 @NODE 20
 BENDING STRESS: 1334.5 @NODE 29
 TORSIONAL STRESS: 36.6 @NODE 40
 AXIAL STRESS: 276841.7 @NODE 19
 3D MAX INTENSITY: 277939.7 @NODE 20

HIGHEST STRESSES: (KPa) T=0.562"
 CODE STRESS: 288528.3 @NODE 20
 BENDING STRESS: 1477.7 @NODE 29
 TORSIONAL STRESS: 31.8 @NODE 40
 AXIAL STRESS: 287356.2 @NODE 19
 3D MAX INTENSITY: 288528.3 @NODE 20

CFBM-3

HIGHEST STRESSES: (KPa) T=0.688"
 CODE STRESS: 281061.3 @NODE 20
 BENDING STRESS: 639.5 @NODE 20
 TORSIONAL STRESS: 15.2 @NODE 39
 AXIAL STRESS: 280921.7 @NODE 10
 3D MAX INTENSITY: 281061.3 @NODE 20

HIGHEST STRESSES: (KPa) T=0.562"
 CODE STRESS: 310955.2 @NODE 20
 BENDING STRESS: 785.4 @NODE 20
 TORSIONAL STRESS: 22.9 @NODE 49
 AXIAL STRESS: 310803.6 @NODE 10
 3D MAX INTENSITY: 310955.2 @NODE 20

CFBM-4

HIGHEST STRESSES: (KPa) T=0.688"

CODE STRESS:	302254.1	@NODE	19
BENDING STRESS:	1876.8	@NODE	19
TORSIONAL STRESS:	20.2	@NODE	20
AXIAL STRESS:	300437.3	@NODE	19
3D MAX INTENSITY:	302254.1	@NODE	19

HIGHEST STRESSES: (KPa) T=0.562"

CODE STRESS:	306999.4	@NODE	19
BENDING STRESS:	1924.4	@NODE	19
TORSIONAL STRESS:	22.2	@NODE	20
AXIAL STRESS:	305148.2	@NODE	19
3D MAX INTENSITY:	306999.4	@NODE	19

CFBM-5

HIGHEST STRESSES: (KPa) T=0.688"

CODE STRESS:	272796.2	@NODE	20
BENDING STRESS:	2286.4	@NODE	20
TORSIONAL STRESS:	37.2	@NODE	30
AXIAL STRESS:	270515.8	@NODE	19
3D MAX INTENSITY:	272796.2	@NODE	20

HIGHEST STRESSES: (KPa) T=0.562"

CODE STRESS:	285894.5	@NODE	20
BENDING STRESS:	2493.6	@NODE	20
TORSIONAL STRESS:	41.0	@NODE	30
AXIAL STRESS:	283407.2	@NODE	19
3D MAX INTENSITY:	285894.5	@NODE	20

CFBM-6

HIGHEST STRESSES: (KPa) T=0.688"

CODE STRESS:	276712.4	@NODE	29
BENDING STRESS:	1145.0	@NODE	29
TORSIONAL STRESS:	24.0	@NODE	59
AXIAL STRESS:	275574.8	@NODE	20
3D MAX INTENSITY:	276712.4	@NODE	29

HIGHEST STRESSES: (KPa) T=0.562"

CODE STRESS:	283121.1	@NODE	29
BENDING STRESS:	1228.1	@NODE	30
TORSIONAL STRESS:	24.3	@NODE	59
AXIAL STRESS:	281914.5	@NODE	20
3D MAX INTENSITY:	283121.1	@NODE	29

CFBM-7

HIGHEST STRESSES: (KPa) T=0.688"

CODE STRESS:	299735.8	@NODE	29
BENDING STRESS:	4840.1	@NODE	39
TORSIONAL STRESS:	17.3	@NODE	40

AXIAL STRESS:	297112.3	@NODE	20
3D MAX INTENSITY:	299735.8	@NODE	29

HIGHEST STRESSES: (	KPa	) T=0.562"	
CODE STRESS:	314211.3	@NODE	29
BENDING STRESS:	4140.8	@NODE	39
TORSIONAL STRESS:	15.9	@NODE	40
AXIAL STRESS:	311596.5	@NODE	20
3D MAX INTENSITY:	314211.3	@NODE	29

CFBM-8

HIGHEST STRESSES: (	KPa	) T=0.688"	
CODE STRESS:	248780.1	@NODE	29
BENDING STRESS:	4017.3	@NODE	39
TORSIONAL STRESS:	14.4	@NODE	40
AXIAL STRESS:	246603.0	@NODE	20
3D MAX INTENSITY:	248780.1	@NODE	29

HIGHEST STRESSES: (	KPa	) T=0.562"	
CODE STRESS:	309781.4	@NODE	20
BENDING STRESS:	80.5	@NODE	12
TORSIONAL STRESS:	0.0	@NODE	20
AXIAL STRESS:	309771.1	@NODE	16
3D MAX INTENSITY:	309781.4	@NODE	20

CFGs-1

HIGHEST STRESSES: (	KPa	) T=0.688"	
CODE STRESS:	348171.4	@NODE	19
BENDING STRESS:	19268.3	@NODE	29
TORSIONAL STRESS:	518.6	@NODE	30
AXIAL STRESS:	342088.5	@NODE	19
3D MAX INTENSITY:	348171.4	@NODE	19

HIGHEST STRESSES: (	KPa	) T=0.562"	
CODE STRESS:	382155.7	@NODE	19
BENDING STRESS:	18455.3	@NODE	29
TORSIONAL STRESS:	470.0	@NODE	30
AXIAL STRESS:	376340.0	@NODE	19
3D MAX INTENSITY:	382155.7	@NODE	19

CFGs-2

HIGHEST STRESSES: (	KPa	) T=0.688"	
CODE STRESS:	294904.2	@NODE	20
BENDING STRESS:	725.0	@NODE	20
TORSIONAL STRESS:	5.6	@NODE	20
AXIAL STRESS:	294213.1	@NODE	20
3D MAX INTENSITY:	294904.2	@NODE	20

HIGHEST STRESSES: (KPa) T=0.562"
 CODE STRESS: 316943.3 @NODE 20
 BENDING STRESS: 737.0 @NODE 20
 TORSIONAL STRESS: 5.5 @NODE 20
 AXIAL STRESS: 316238.4 @NODE 20
 3D MAX INTENSITY: 316943.3 @NODE 20

CFGS-3

HIGHEST STRESSES: (KPa) T=0.688"
 CODE STRESS: 277238.2 @NODE 20
 BENDING STRESS: 315.4 @NODE 20
 TORSIONAL STRESS: 0.9 @NODE 49
 AXIAL STRESS: 277231.3 @NODE 10
 3D MAX INTENSITY: 277238.2 @NODE 20

HIGHEST STRESSES: (KPa) T=0.562"
 CODE STRESS: 305484.2 @NODE 20
 BENDING STRESS: 288.2 @NODE 20
 TORSIONAL STRESS: 0.8 @NODE 49
 AXIAL STRESS: 305479.1 @NODE 10
 3D MAX INTENSITY: 305484.2 @NODE 20

CFGS-4

HIGHEST STRESSES: (KPa) T=0.688"
 CODE STRESS: 290812.2 @NODE 30
 BENDING STRESS: 1816.5 @NODE 30
 TORSIONAL STRESS: 10.9 @NODE 39
 AXIAL STRESS: 289021.3 @NODE 20
 3D MAX INTENSITY: 290812.2 @NODE 30

HIGHEST STRESSES: (KPa) T=0.562"
 CODE STRESS: 315166.2 @NODE 30
 BENDING STRESS: 1673.5 @NODE 30
 TORSIONAL STRESS: 11.0 @NODE 39
 AXIAL STRESS: 313520.1 @NODE 20
 3D MAX INTENSITY: 315166.2 @NODE 30

ANALISIS DINÁMICO EL PILAR (T=0.688")

LISTADO DE TENSIONES, TENSIONES DE ELEMENTO
(OCC)SHOCK CASE # 1

In the report below, each item consists of (3) lines of data:

- Line 1 is the total response.
- Line 2 is the contribution of the max contributor to the total response.
- Line 3 details the maximum contributor:
 - (a) the mode, the load component (direction and sequence number)
 - (b) missing mass contribution and associated load
 - (c) pseudo-static contribution and associated load.

**** B31.8 -1999, Jue 5, 2000

HIGHEST STRESSES: (KPa) T=0.688"
 CODE STRESS: 348171.4 @NODE 19
 BENDING STRESS: 19268.3 @NODE 29
 TORSIONAL STRESS: 518.6 @NODE 30
 AXIAL STRESS: 342088.5 @NODE 19
 3D MAX INTENSITY: 348171.4 @NODE 19

NODOS		-----Tensiones(KPa)-----					--(
KPa								
TOTALES...	AXIAL	FLECTOR	TORSION	OCT MAX	TENSIO			
ADMIS.								
MODO	MAX.AX/Modo	FLEC/Modo	TOR/Mode	OCT/Mode	SIFI	SIFO		
	TENSION/Modo							
0	10	184407	0	0	184407	1.00	1.00	184407
		184135			184135			184135
		1 X(1)			1 X(1)			1 X(1)
0	19	184407	7688	0	190519	1.00	1.00	190519
		184135	6030		190166			190166
		1 X(1)	1 X(1)		1 X(1)			1 X(1)
0	19	342088	7688	0	348171	1.00	1.00	348171
		342042	6030		348073			348073
		1 X(1)	1 X(1)		1 X(1)			1 X(1)
0	20	342088	6701	0	347394	1.00	1.00	347394
		342042	5264		347306			347306
		1 X(1)	1 X(1)		1 X(1)			1 X(1)
0	20	305453	6678	281	310753	1.00	1.00	310751
		305423	5264	240	310688			310688
		1 X(1)	1 X(1)	1 Z/1M	1 X(1)			1 X(1)
0	29	305453	19268	281	324203	1.00	1.00	324203

		305423	18702	240	324125			324125
		1 X(1)	1 X(1)	1 Z/1M	1 X(1)			1 X(1)
0	29	285923	19268	281	304677	1.00	1.00	304675
		285896	18702	239	304598			304598
		1 X(1)	1 X(1)	1 Z/1M	1 X(1)			1 X(1)
0	30	285923	18741	281	304134	1.00	1.00	304132
		285896	18159	239	304055			304055
		1 X(1)	1 X(1)	1 Z/1M	1 X(1)			1 X(1)
0	30	255735	18721	518	273951	1.00	1.00	273949
		255711	18159	496	273870			273870
		1 X(1)	1 X(1)	1 Z/1M	1 X(1)			1 X(1)
0	39	255735	9602	518	264931	1.00	1.00	264927
		255711	9172	496	264884			264884
		1 X(1)	1 X(1)	1 Z/1M	1 X(1)			1 X(1)
0	39	238853	9602	518	248049	1.00	1.00	248047
		238830	9172	496	248004			248004
		1 X(1)	1 X(1)	1 Z/1M	1 X(1)			1 X(1)
0	40	238853	10215	518	248688	1.00	1.00	248686
		238830	9812	496	248643			248643
		1 X(1)	1 X(1)	1 Z/1M	1 X(1)			1 X(1)
0	40	205340	10252	278	215179	1.00	1.00	215178
		205320	9812	263	215133			215133
		1 X(1)	1 X(1)	1 Z/1M	1 X(1)			1 X(1)
0	49	205340	4545	278	209412	1.00	1.00	209412
		205320	4060	263	209381			209381
		1 X(1)	1 X(1)	1 Z/1M	1 X(1)			1 X(1)
0	49	188662	4545	278	192736	1.00	1.00	192736
		188644	4060	263	192705			192705
		1 X(1)	1 X(1)	1 Z/1M	1 X(1)			1 X(1)
0	50	188662	4098	278	192229	1.00	1.00	192228
		188644	3552	263	192198			192198
		1 X(1)	1 X(1)	1 Z/1M	1 X(1)			1 X(1)
0	50	164444	4130	111	168011	1.00	1.00	168011
		164427	3552	104	167981			167981
		1 X(1)	1 X(1)	1 Z/1M	1 X(1)			1 X(1)
0	60	164444	1954	111	166391	1.00	1.00	166391
		164427	1946	104	166374			166374

		1 X(1)	1 X(1)	1 Z/1M	1 X(1)			1 X(1)
0	60	91274	1954	112	93222	1.00	1.00	93222
		91265	1946	105	93212			93212
		1 X(1)	1 X(1)	1 Z/1M	1 X(1)			1 X(1)
0	61	91274	629	112	91901	1.00	1.00	91900
		91265	625	105	91892			91892
		1 X(1)	1 X(1)	1 Z/1M	1 X(1)			1 X(1)
0	61	45794	629	112	46421	1.00	1.00	46420
		45790	625	105	46416			46416
		1 X(1)	1 X(1)	1 Z/1M	1 X(1)			1 X(1)
0	62	45794	282	112	46067	1.00	1.00	46066
		45790	272	105	46062			46062
		1 X(1)	1 X(1)	1 Z/1M	1 X(1)			1 X(1)
0	62	25519	282	112	25793	1.00	1.00	25792
		25517	272	105	25789			25789
		1 X(1)	1 X(1)	1 Z/1M	1 X(1)			1 X(1)
0	69	25519	549	112	26015	1.00	1.00	26014
		25517	493	105	26010			26010
		1 X(1)	1 X(1)	1 Z/1M	1 X(1)			1 X(1)
0	69	20221	549	112	20717	1.00	1.00	20716
		20219	493	105	20712			20712
		1 X(1)	1 X(1)	1 Z/1M	1 X(1)			1 X(1)
0	70	20221	487	112	20647	1.00	1.00	20646
		20219	423	105	20642			20642
		1 X(1)	1 X(1)	1 Z/1M	1 X(1)			1 X(1)
0	70	17526	504	92	17953	1.00	1.00	17952
		17525	423	86	17948			17948
		1 X(1)	1 X(1)	1 Z/1M	1 X(1)			1 X(1)
0	79	17526	2010	92	19497	1.00	1.00	19496
		17525	1965	86	19490			19490
		1 X(1)	1 X(1)	1 Z/1M	1 X(1)			1 X(1)
0	79	16298	2010	92	18270	1.00	1.00	18269
		16297	1965	86	18262			18262
		1 X(1)	1 X(1)	1 Z/1M	1 X(1)			1 X(1)
0	80	16298	1990	92	18249	1.00	1.00	18248
		16297	1944	86	18241			18241
		1 X(1)	1 X(1)	1 Z/1M	1 X(1)			1 X(1)

0	80	15065	1995	58	17016	1.00	1.00	17016
		15064	1944	54	17008			17008
		1 X(1)	1 X(1)	1 Z/1M	1 X(1)			1 X(1)
0	89	15065	1537	58	16568	1.00	1.00	16568
		15064	1499	54	16563			16563
		1 X(1)	1 X(1)	1 Z/1M	1 X(1)			1 X(1)
0	89	14404	1537	58	15908	1.00	1.00	15907
		14403	1499	54	15902			15902
		1 X(1)	1 X(1)	1 Z/1M	1 X(1)			1 X(1)
0	90	14404	1561	58	15933	1.00	1.00	15932
		14403	1523	54	15927			15927
		1 X(1)	1 X(1)	1 Z/1M	1 X(1)			1 X(1)
0	90	12808	1564	30	14337	1.00	1.00	14336
		12807	1523	28	14331			14331
		1 X(1)	1 X(1)	1 Z/1M	1 X(1)			1 X(1)
0	99	12808	168	30	12909	1.00	1.00	12909
		12807	127	28	12907			12907
		1 X(1)	1 Z/1M	1 Z/1M	1 X(1)			1 X(1)
0	99	11931	168	30	12032	1.00	1.00	12032
		11930	127	28	12030			12030
		1 X(1)	1 Z/1M	1 Z/1M	1 X(1)			1 X(1)
0	100	11931	209	30	12091	1.00	1.00	12091
		11930	158	28	12089			12089
		1 X(1)	1 X(1)	1 Z/1M	1 X(1)			1 X(1)
0	100	6594	214	19	6755	1.00	1.00	6755
		6594	158	18	6753			6753
		1 X(1)	1 X(1)	1 Z/1M	1 X(1)			1 X(1)
0	101	6594	55	19	6634	1.00	1.00	6634
		6594	39	18	6633			6633
		1 X(1)	1 X(1)	1 Z/1M	1 X(1)			1 X(1)
0	101	2833	55	19	2874	1.00	1.00	2873
		2833	39	18	2873			2873
		1 X(1)	1 X(1)	1 Z/1M	1 X(1)			1 X(1)
0	102	2833	14	19	2844	1.00	1.00	2844
		2833	10	18	2844			2844
		1 X(1)	1 X(1)	1 Z/1M	1 X(1)			1 X(1)

0	102	1229	14	19	1240	1.00	1.00	1240
		1229	10	18	1239			1239
		1 X(1)	1 X(1)	1 Z/1M	1 X(1)			1 X(1)
0	103	1229	9	19	1233	1.00	1.00	1232
		1229	8	18	1232			1232
		1 X(1)	1 Z/1M	1 Z/1M	1 X(1)			1 X(1)
0	103	517	9	19	522	1.00	1.00	520
		517	8	18	520			520
		1 X(1)	1 Z/1M	1 Z/1M	1 X(1)			1 X(1)
0	109	517	30	19	525	1.00	1.00	523
		517	28	18	523			523
		1 X(1)	1 Z/1M	1 Z/1M	1 X(1)			1 X(1)
0	109	390	30	19	399	1.00	1.00	397
		390	28	18	395			395
		1 X(1)	1 Z/1M	1 Z/1M	1 X(1)			1 X(1)
0	110	390	30	19	396	1.00	1.00	394
		390	28	18	393			393
		1 X(1)	1 Z/1M	1 Z/1M	1 X(1)			1 X(1)
0	110	246	41	13	254	1.00	1.00	253
		246	38	12	249			249
		1 X(1)	1 Z/1M	1 Z/1M	1 X(1)			1 X(1)
0	119	246	44	13	266	1.00	1.00	264
		246	39	12	261			261
		1 X(1)	1 Z/1M	1 Z/1M	1 X(1)			1 X(1)
0	119	224	44	13	244	1.00	1.00	243
		224	39	12	239			239
		1 X(1)	1 Z/1M	1 Z/1M	1 X(1)			1 X(1)
0	120	224	44	13	244	1.00	1.00	242
		224	39	12	238			238
		1 X(1)	1 Z/1M	1 Z/1M	1 X(1)			1 X(1)
0	120	195	48	10	215	1.00	1.00	214
		195	43	9	209			209
		1 X(1)	1 Z/1M	1 Z/1M	1 X(1)			1 X(1)
0	129	195	65	10	243	1.00	1.00	242
		195	47	9	237			237
		1 X(1)	1 Z/1M	1 Z/1M	1 X(1)			1 X(1)

0	129	181	65	10	229	1.00	1.00	229
		181	47	9	223			223
	130	1 X(1)	1 Z/1M	1 Z/1M	1 X(1)			1 X(1)
0		181	65	10	229	1.00	1.00	228
		181	47	9	223			223
	130	1 X(1)	1 Z/1M	1 Z/1M	1 X(1)			1 X(1)
0		173	67	6	222	1.00	1.00	221
		173	49	5	215			215
	139	1 X(1)	1 Z/1M	1 Z/1M	1 X(1)			1 X(1)
0		173	51	6	213	1.00	1.00	212
		173	36	5	209			209
	139	1 X(1)	1 X(1)	1 Z/1M	1 X(1)			1 X(1)
0		168	51	6	209	1.00	1.00	208
		168	36	5	205			205
	140	1 X(1)	1 X(1)	1 Z/1M	1 X(1)			1 X(1)
0		168	51	6	209	1.00	1.00	208
		168	36	5	205			205
	140	1 X(1)	1 X(1)	1 Z/1M	1 X(1)			1 X(1)
0		151	52	3	192	1.00	1.00	191
		151	36	2	188			188
	149	1 X(1)	1 X(1)	1 Z/1M	1 X(1)			1 X(1)
0		151	12	3	154	1.00	1.00	154
		151	11	2	153			153
	149	1 X(1)	1 Z/1M	1 Z/1M	1 X(1)			1 X(1)
0		141	12	3	144	1.00	1.00	144
		141	11	2	144			144
	150	1 X(1)	1 Z/1M	1 Z/1M	1 X(1)			1 X(1)
0		141	12	3	145	1.00	1.00	145
		141	11	2	144			144
	150	1 X(1)	1 Z/1M	1 Z/1M	1 X(1)			1 X(1)
0		72	12	2	77	1.00	1.00	77
		72	11	2	76			76
	159	1 X(1)	1 Z/1M	1 Z/1M	1 X(1)			1 X(1)
0		72	10	2	74	1.00	1.00	74
		72	10	2	73			73
	159	1 X(1)	1 Z/1M	1 Z/1M	1 X(1)			1 X(1)

0	159	51	11	2	53	1.00	1.00	53
		51	10	2	52			52
		1 X(1)	1 Z/1M	1 Z/1M	1 X(1)			1 X(1)
0	160	51	11	2	53	1.00	1.00	53
		51	10	2	52			52
		1 X(1)	1 Z/1M	1 Z/1M	1 X(1)			1 X(1)
0	160	21	11	0	25	1.00	1.00	25
		21	11		22			22
		1 X(1)	1 Z/1M		1 X(1)			1 X(1)
0	169	21	7	0	24	1.00	1.00	24
		21	6		23			23
		1 X(1)	1 Z/1M		1 X(1)			1 X(1)
0	169	16	7	0	18	1.00	1.00	18
		16	6		17			17
		1 X(1)	1 Z/1M		1 X(1)			1 X(1)
0	170	16	7	0	18	1.00	1.00	18
		16	6		17			17
		1 X(1)	1 Z/1M		1 X(1)			1 X(1)

ANALISIS DINÁMICO EL PILAR (T=0.562")

LISTADO DE TENSIONES, TENSIONES DE ELEMENTO
(OCC)SHOCK CASE # 1

In the report below, each item consists of (3) lines of data:

- Line 1 is the total response.
- Line 2 is the contribution of the max contributor to the total response.
- Line 3 details the maximum contributor:
 - (a) the mode, the load component (direction and sequence number)
 - (b) missing mass contribution and associated load
 - (c) pseudo-static contribution and associated load.

**** B31.8 -1999, Jue 5, 2000

HIGHEST STRESSES: (KPa) T=0.562"
 CODE STRESS: 382155.7 @NODE 19
 BENDING STRESS: 18455.3 @NODE 29
 TORSIONAL STRESS: 470.0 @NODE 30
 AXIAL STRESS: 376340.0 @NODE 19
 3D MAX INTENSITY: 382155.7 @NODE 19

NODOS -----Tensiones(KPa)----- --(
 KPa
 TOTALES...AXIAL FLECTOR TORSION OCT MAX TENSIO
 ADMIS.
 MODO MAX.AX/Modo FLEC/Modo TOR/Mode OCT/Mode SIFI SIFO
 TENSION/Modo

0	10	204555	0	0	204555	1.00	1.00	204555
		204192			204192			204192
		1 X(1)			1 X(1)			1 X(1)
0	19	204555	7266	0	210394	1.00	1.00	210394
		204192	5771		209964			209964
		1 X(1)	1 X(1)		1 X(1)			1 X(1)
0	19	376339	7266	0	382155	1.00	1.00	382155
		376283	5771		382055			382055
		1 X(1)	1 X(1)		1 X(1)			1 X(1)
0	20	376339	6089	0	381188	1.00	1.00	381188
		376283	4815		381099			381099
		1 X(1)	1 X(1)		1 X(1)			1 X(1)
0	20	332075	6068	254	336919	1.00	1.00	336919
		332041	4815	215	336857			336857
		1 X(1)	1 X(1)	1 Z/1M	1 X(1)			1 X(1)
0	29	332075	18455	254	350079	1.00	1.00	350079
		332041	17963	215	350003			350003
		1 X(1)	1 X(1)	1 Z/1M	1 X(1)			1 X(1)

0	29	308990	18455	253	326995	1.00	1.00	326995
		308957	17963	215	326921			326921
		1 X(1)	1 X(1)	1 Z/1M	1 X(1)			1 X(1)
0	30	308990	17812	253	326335	1.00	1.00	326334
		308957	17302	215	326259			326259
		1 X(1)	1 X(1)	1 Z/1M	1 X(1)			1 X(1)
0	30	273304	17794	469	290653	1.00	1.00	290651
		273277	17302	449	290577			290577
		1 X(1)	1 X(1)	1 Z/1M	1 X(1)			1 X(1)
0	39	273304	9258	469	282214	1.00	1.00	282212
		273277	8892	449	282169			282169
		1 X(1)	1 X(1)	1 Z/1M	1 X(1)			1 X(1)
0	39	253744	9258	469	262655	1.00	1.00	262654
		253718	8892	449	262610			262610
		1 X(1)	1 X(1)	1 Z/1M	1 X(1)			1 X(1)
0	40	253744	9987	469	263410	1.00	1.00	263409
		253718	9648	449	263365			263365
		1 X(1)	1 X(1)	1 Z/1M	1 X(1)			1 X(1)
0	40	214945	10018	251	224614	1.00	1.00	224614
		214923	9648	237	224571			224571
		1 X(1)	1 X(1)	1 Z/1M	1 X(1)			1 X(1)
0	49	214945	4013	251	218517	1.00	1.00	218516
		214923	3561	237	218484			218484
		1 X(1)	1 X(1)	1 Z/1M	1 X(1)			1 X(1)
0	49	196087	4014	251	199660	1.00	1.00	199659
		196067	3561	237	199629			199629
		1 X(1)	1 X(1)	1 Z/1M	1 X(1)			1 X(1)
0	50	196087	3503	251	199072	1.00	1.00	199072
		196067	2974	237	199042			199042
		1 X(1)	1 X(1)	1 Z/1M	1 X(1)			1 X(1)
0	50	168691	3533	100	171677	1.00	1.00	171677
		168674	2974	94	171648			171648
		1 X(1)	1 X(1)	1 Z/1M	1 X(1)			1 X(1)
0	60	168691	1756	100	170440	1.00	1.00	170440
		168674	1748	94	170422			170422
		1 X(1)	1 X(1)	1 Z/1M	1 X(1)			1 X(1)

0	60	87656	1755	101	89406	1.00	1.00	89405
		87647	1748	95	89396			89396
		1 X(1)	1 X(1)	1 Z/1M	1 X(1)			1 X(1)
0	61	87656	561	101	88215	1.00	1.00	88215
		87647	558	95	88205			88205
		1 X(1)	1 X(1)	1 Z/1M	1 X(1)			1 X(1)
0	61	41079	561	101	41639	1.00	1.00	41638
		41075	558	95	41634			41634
		1 X(1)	1 X(1)	1 Z/1M	1 X(1)			1 X(1)
0	62	41079	237	101	41307	1.00	1.00	41306
		41075	226	95	41302			41302
		1 X(1)	1 X(1)	1 Z/1M	1 X(1)			1 X(1)
0	62	21535	237	101	21763	1.00	1.00	21762
		21533	226	95	21759			21759
		1 X(1)	1 X(1)	1 Z/1M	1 X(1)			1 X(1)
0	69	21535	431	101	21909	1.00	1.00	21908
		21533	371	95	21904			21904
		1 X(1)	1 X(1)	1 Z/1M	1 X(1)			1 X(1)
0	69	16744	431	101	17118	1.00	1.00	17117
		16742	371	95	17114			17114
		1 X(1)	1 X(1)	1 Z/1M	1 X(1)			1 X(1)
0	70	16744	376	101	17054	1.00	1.00	17052
		16742	307	95	17049			17049
		1 X(1)	1 X(1)	1 Z/1M	1 X(1)			1 X(1)
0	70	14297	394	83	14607	1.00	1.00	14606
		14296	307	78	14603			14603
		1 X(1)	1 X(1)	1 Z/1M	1 X(1)			1 X(1)
0	79	14297	1473	83	15725	1.00	1.00	15724
		14296	1422	78	15718			15718
		1 X(1)	1 X(1)	1 Z/1M	1 X(1)			1 X(1)
0	79	13211	1473	83	14640	1.00	1.00	14639
		13210	1422	78	14632			14632
		1 X(1)	1 X(1)	1 Z/1M	1 X(1)			1 X(1)
0	80	13211	1453	83	14620	1.00	1.00	14619
		13210	1402	78	14613			14613
		1 X(1)	1 X(1)	1 Z/1M	1 X(1)			1 X(1)

0	80	12118	1459	52	13527	1.00	1.00	13526
		12116	1402	49	13519			13519
		1 X(1)	1 X(1)	1 Z/1M	1 X(1)			1 X(1)
0	89	12118	1121	52	13200	1.00	1.00	13199
		12116	1078	49	13195			13195
		1 X(1)	1 X(1)	1 Z/1M	1 X(1)			1 X(1)
0	89	11542	1121	52	12624	1.00	1.00	12624
		11541	1078	49	12619			12619
		1 X(1)	1 X(1)	1 Z/1M	1 X(1)			1 X(1)
0	90	11542	1142	52	12646	1.00	1.00	12646
		11541	1100	49	12641			12641
		1 X(1)	1 X(1)	1 Z/1M	1 X(1)			1 X(1)
0	90	10153	1145	27	11258	1.00	1.00	11258
		10152	1100	25	11252			11252
		1 X(1)	1 X(1)	1 Z/1M	1 X(1)			1 X(1)
0	99	10153	139	27	10221	1.00	1.00	10221
		10152	114	25	10219			10219
		1 X(1)	1 Z/1M	1 Z/1M	1 X(1)			1 X(1)
0	99	9407	139	27	9475	1.00	1.00	9475
		9406	114	25	9473			9473
		1 X(1)	1 Z/1M	1 Z/1M	1 X(1)			1 X(1)
0	100	9407	169	27	9525	1.00	1.00	9524
		9406	116	25	9523			9523
		1 X(1)	1 X(1)	1 Z/1M	1 X(1)			1 X(1)
0	100	4873	174	17	4991	1.00	1.00	4991
		4872	121	16	4989			4989
		1 X(1)	1 Z/1M	1 Z/1M	1 X(1)			1 X(1)
0	101	4873	45	17	4902	1.00	1.00	4902
		4872	32	16	4902			4902
		1 X(1)	1 Z/1M	1 Z/1M	1 X(1)			1 X(1)
0	101	1926	45	17	1956	1.00	1.00	1956
		1926	32	16	1955			1955
		1 X(1)	1 Z/1M	1 Z/1M	1 X(1)			1 X(1)
0	102	1926	12	17	1934	1.00	1.00	1934
		1926	8	16	1934			1934
		1 X(1)	1 Z/1M	1 Z/1M	1 X(1)			1 X(1)

0	102	768	12	17	777	1.00	1.00	776
		768	8	16	776			776
	1 X(1)	1 Z/1M	1 Z/1M	1 X(1)				1 X(1)
0	103	768	8	17	771	1.00	1.00	771
		768	7	16	770			770
	1 X(1)	1 Z/1M	1 Z/1M	1 X(1)				1 X(1)
0	103	295	8	17	300	1.00	1.00	298
		295	7	16	297			297
	1 X(1)	1 Z/1M	1 Z/1M	1 X(1)				1 X(1)
0	109	295	27	17	301	1.00	1.00	299
		295	25	16	298			298
	1 X(1)	1 Z/1M	1 Z/1M	1 X(1)				1 X(1)
0	109	219	27	17	226	1.00	1.00	224
		219	25	16	222			222
	1 X(1)	1 Z/1M	1 Z/1M	1 X(1)				1 X(1)
0	110	219	27	17	225	1.00	1.00	222
		219	25	16	221			221
	1 X(1)	1 Z/1M	1 Z/1M	1 X(1)				1 X(1)
0	110	132	37	12	141	1.00	1.00	139
		132	34	11	134			134
	1 X(1)	1 Z/1M	1 Z/1M	1 X(1)				1 X(1)
0	119	132	38	12	147	1.00	1.00	144
		132	35	11	139			139
	1 X(1)	1 Z/1M	1 Z/1M	1 X(1)				1 X(1)
0	119	119	38	12	134	1.00	1.00	132
		119	35	11	127			127
	1 X(1)	1 Z/1M	1 Z/1M	1 X(1)				1 X(1)
0	120	119	38	12	134	1.00	1.00	132
		119	35	11	126			126
	1 X(1)	1 Z/1M	1 Z/1M	1 X(1)				1 X(1)
0	120	102	42	9	118	1.00	1.00	117
		102	38	8	109			109
	1 X(1)	1 Z/1M	1 Z/1M	1 X(1)				1 X(1)
0	129	102	49	9	132	1.00	1.00	130
		102	42	8	122			122
	1 X(1)	1 Z/1M	1 Z/1M	1 X(1)				1 X(1)

0	129	94	49	9	124	1.00	1.00	123
		94	42	8	114			114
	1 X(1)	1 Z/1M	1 Z/1M	1 X(1)				1 X(1)
0	130	94	49	9	124	1.00	1.00	123
		94	42	8	114			114
	1 X(1)	1 Z/1M	1 Z/1M	1 X(1)				1 X(1)
0	130	90	51	5	120	1.00	1.00	119
		90	44	5	109			109
	1 X(1)	1 Z/1M	1 Z/1M	1 X(1)				1 X(1)
0	139	90	37	5	112	1.00	1.00	112
		90	30	5	107			107
	1 X(1)	1 Z/1M	1 Z/1M	1 X(1)				1 X(1)
0	139	87	37	5	110	1.00	1.00	109
		87	30	5	104			104
	1 X(1)	1 Z/1M	1 Z/1M	1 X(1)				1 X(1)
0	140	87	37	5	110	1.00	1.00	110
		87	30	5	105			105
	1 X(1)	1 Z/1M	1 Z/1M	1 X(1)				1 X(1)
0	140	78	38	2	101	1.00	1.00	101
		78	32	2	95			95
	1 X(1)	1 Z/1M	1 Z/1M	1 X(1)				1 X(1)
0	149	78	10	2	80	1.00	1.00	79
		78	9	2	79			79
	1 X(1)	1 Z/1M	1 Z/1M	1 X(1)				1 X(1)
0	149	72	10	2	74	1.00	1.00	74
		72	9	2	73			73
	1 X(1)	1 Z/1M	1 Z/1M	1 X(1)				1 X(1)
0	150	72	10	2	75	1.00	1.00	74
		72	9	2	74			74
	1 X(1)	1 Z/1M	1 Z/1M	1 X(1)				1 X(1)
0	150	35	11	2	38	1.00	1.00	38
		35	10	1	36			36
	1 X(1)	1 Z/1M	1 Z/1M	1 X(1)				1 X(1)
0	159	35	9	2	36	1.00	1.00	36
		35	9	1	35			35
	1 X(1)	1 Z/1M	1 Z/1M	1 X(1)				1 X(1)

0	159	24	9	2	27	1.00	1.00	26
		24	9	1	24			24
		1 X(1)	1 Z/1M	1 Z/1M	1 X(1)			1 X(1)
0	160	24	9	2	27	1.00	1.00	26
		24	9	1	24			24
		1 X(1)	1 Z/1M	1 Z/1M	1 X(1)			1 X(1)
0	160	10	10	0	15	1.00	1.00	14
		10	10		10			10
		1 X(1)	1 Z/1M		1 X(1)			1 X(1)
0	169	10	6	0	12	1.00	1.00	12
		10	6		10			10
		1 X(1)	1 Z/1M		1 X(1)			1 X(1)
0	169	7	6	0	10	1.00	1.00	10
		7	6		8			8
		1 X(1)	1 Z/1M		1 X(1)			1 X(1)
0	170	7	6	0	10	1.00	1.00	10
		7	6		8			8
		1 X(1)	1 Z/1M		1 X(1)			1 X(1)

APÉNDICE E

MODELO TRIDIMENSIONAL DE CRUCE DE FALLA EL PILAR

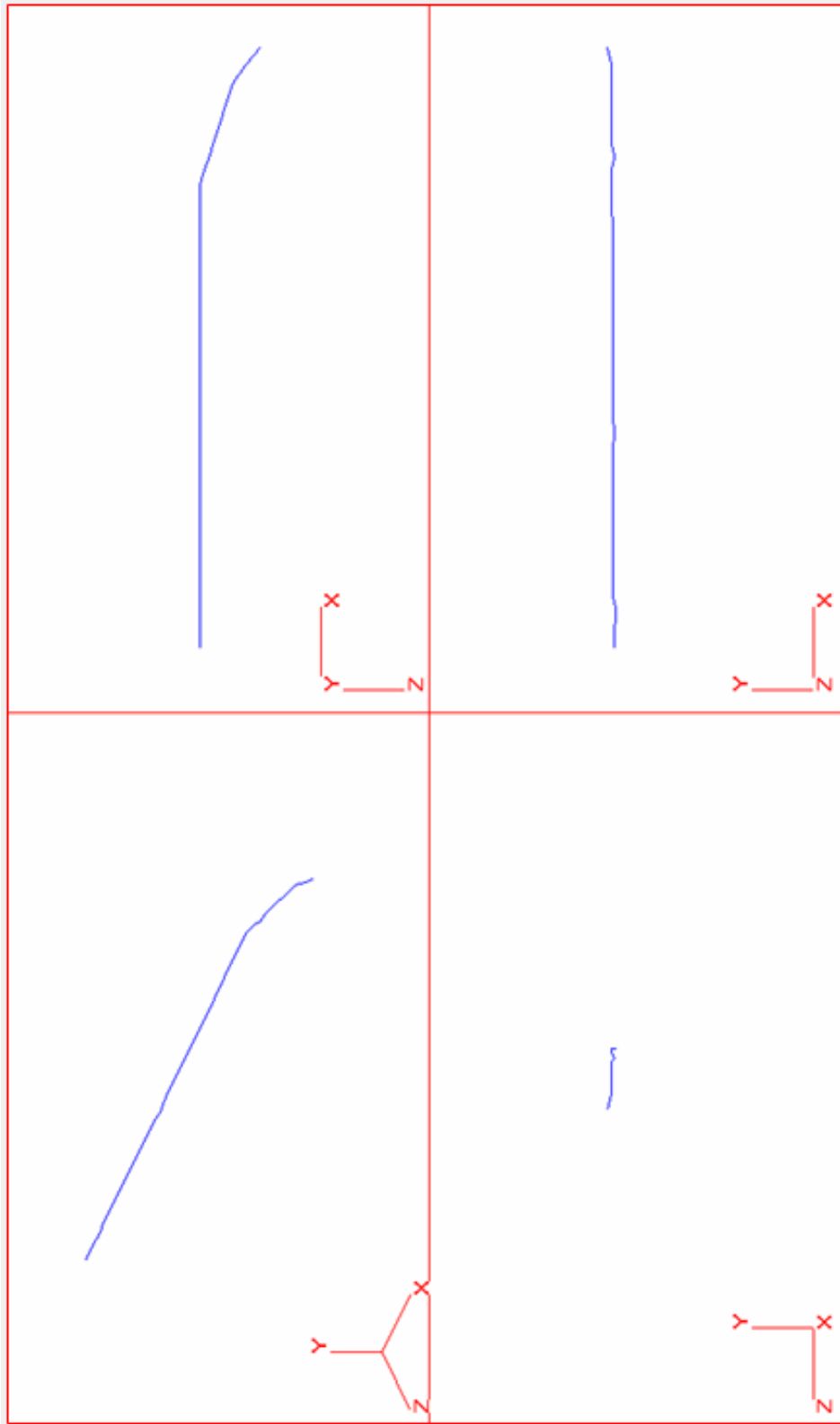


Figura E1. Vistas del modelo tridimensional para el cruce de fallas de El Pilar

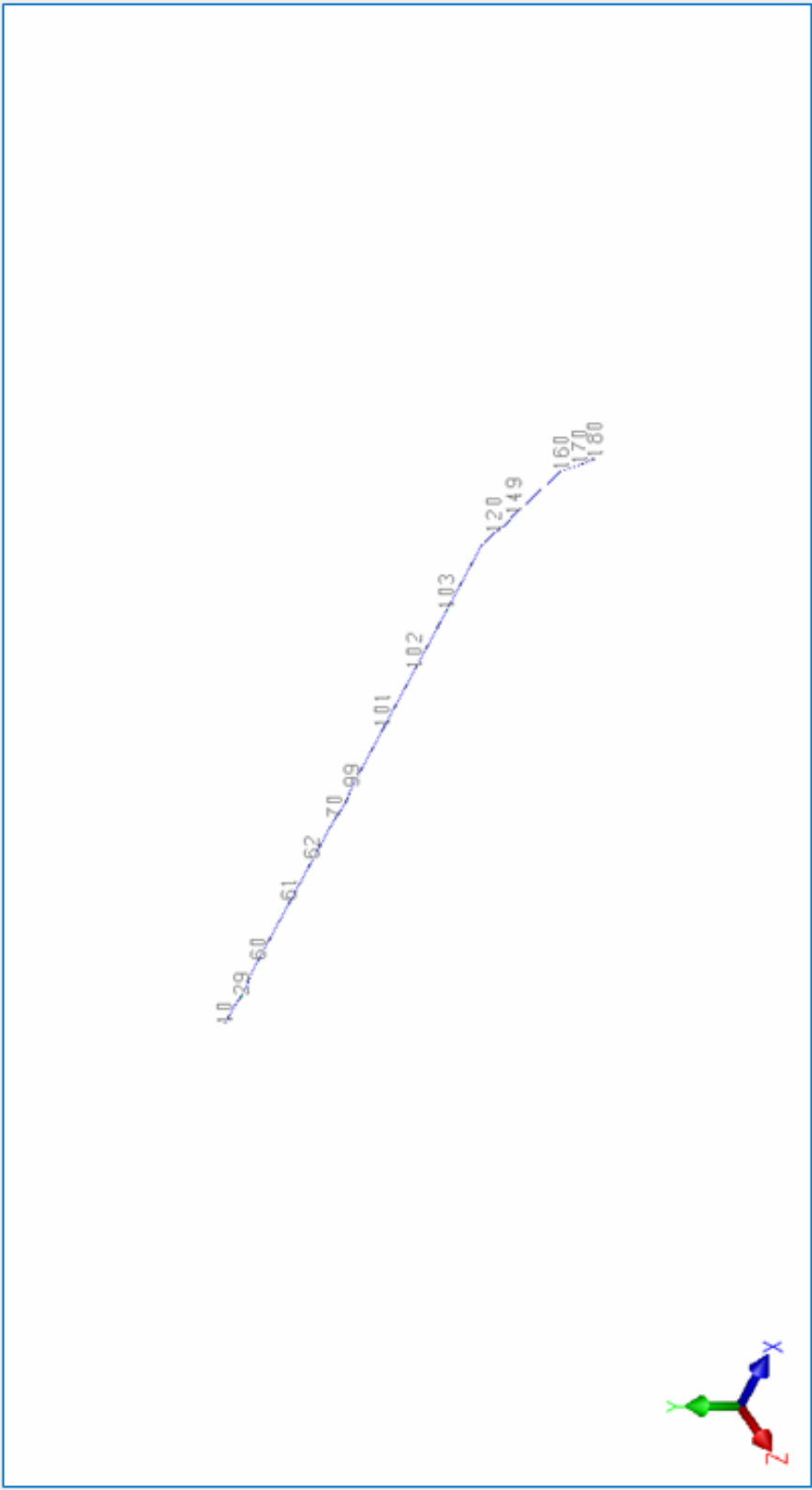


Figura E2. Modelo tridimensional para el cruce de fallas de El Pilar

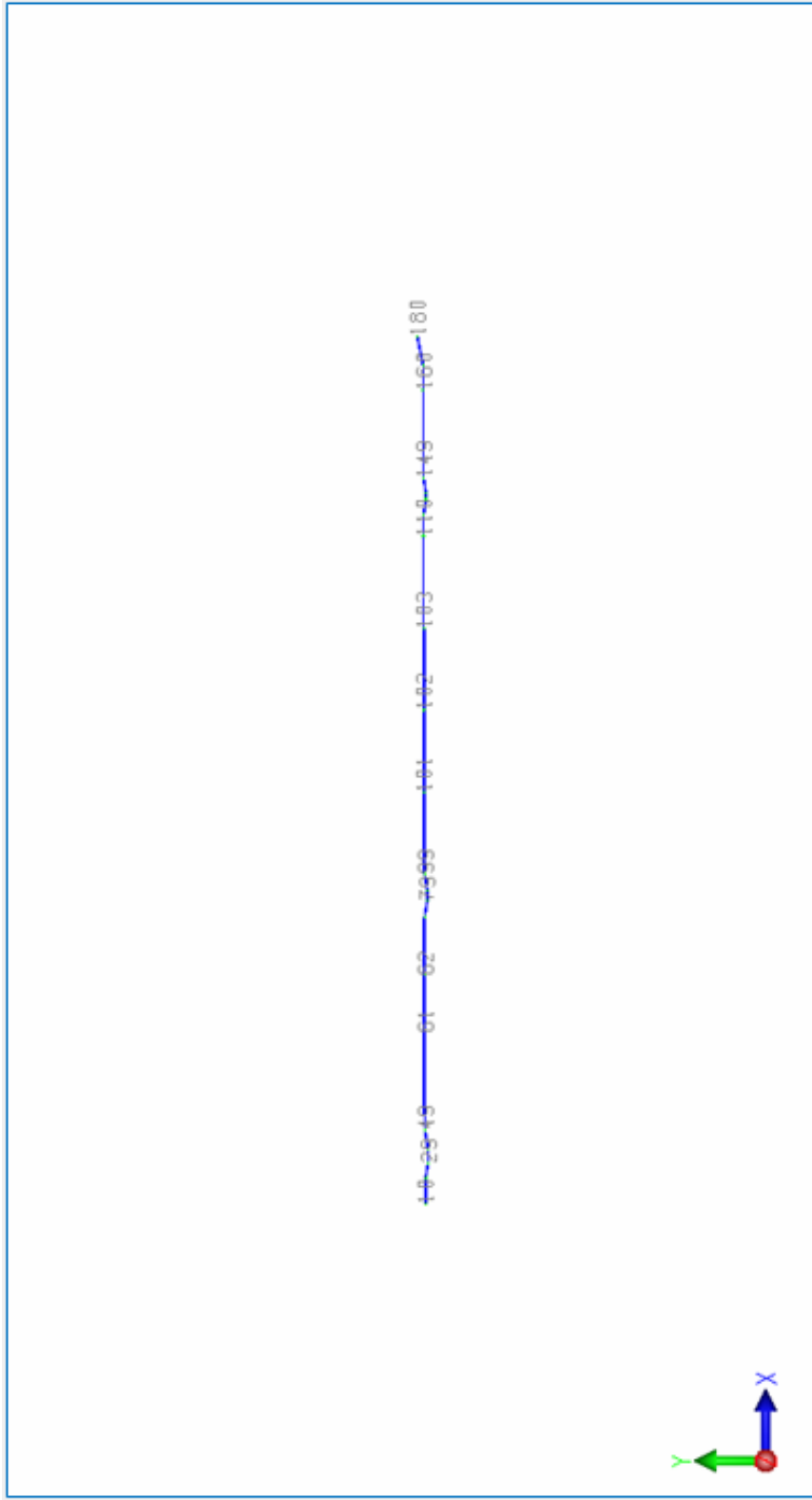


Figura E3. Vista frontal del modelo tridimensional para el cruce de fallas de El Pilar

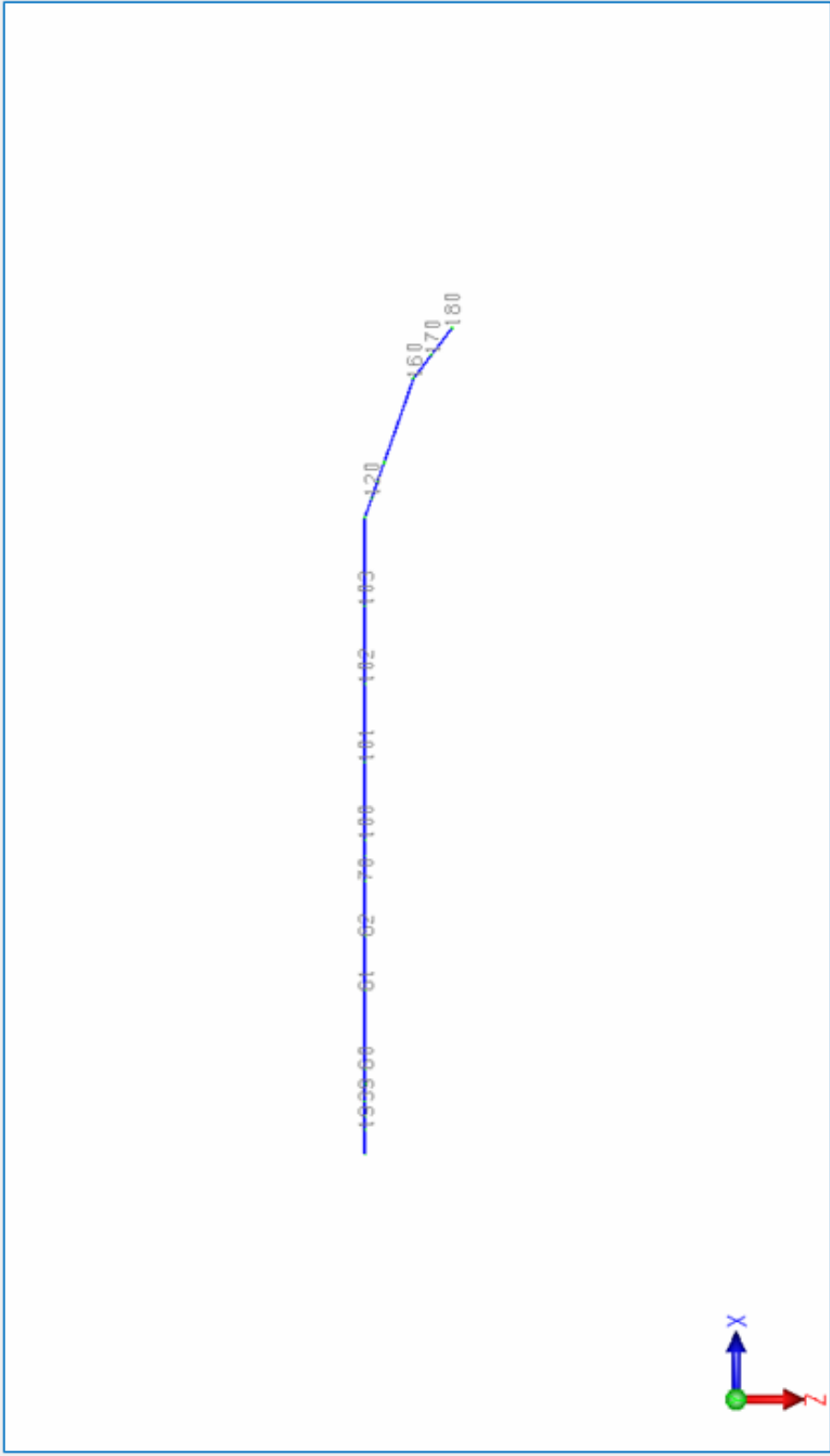


Figura E4. Vista superior del modelo tridimensional para el cruce de fallas de El Pilar

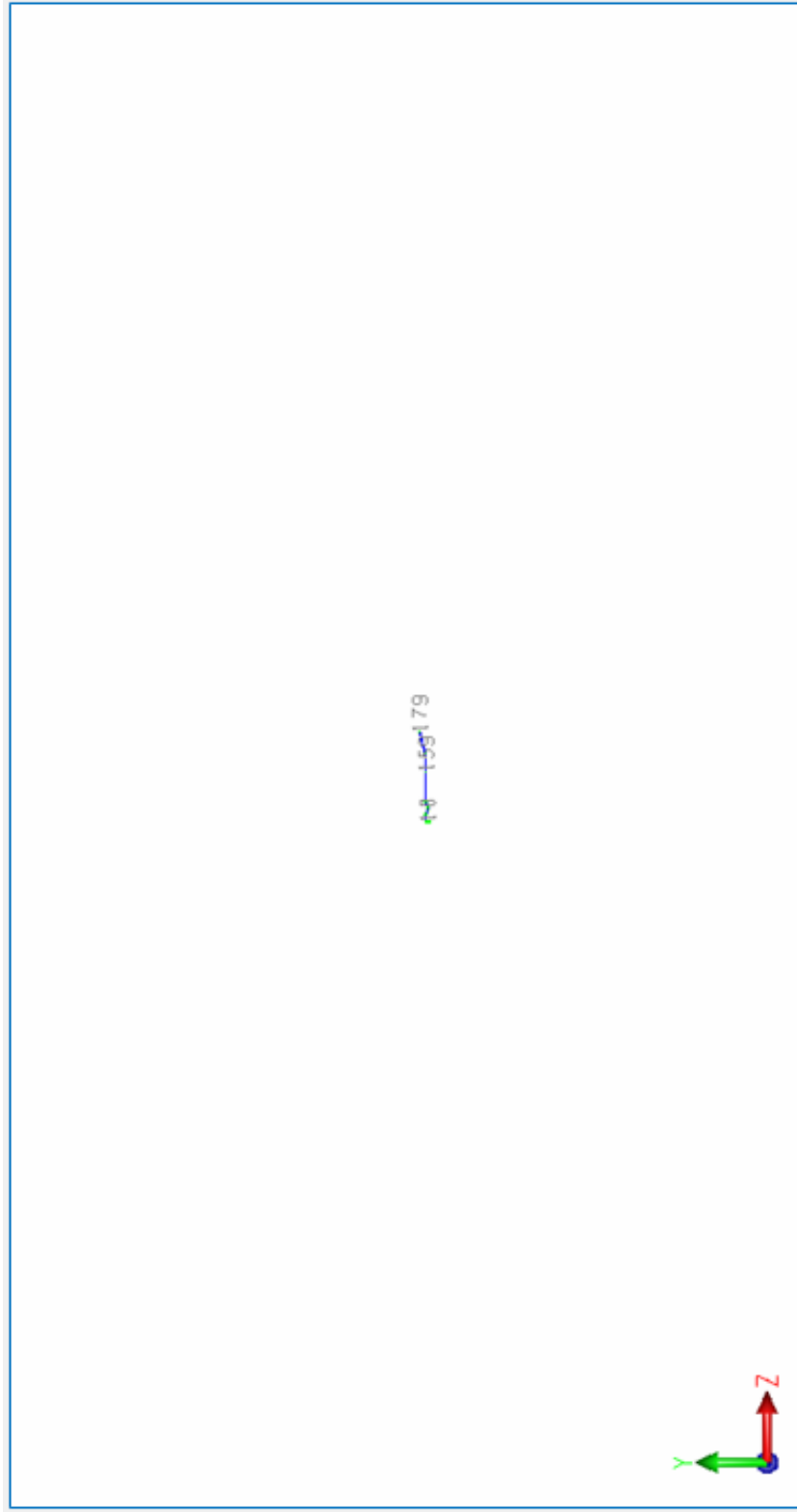


Figura E5. Vista lateral del modelo tridimensional para el cruce de fallas de El Pilar

METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO:

TÍTULO	Evaluación del diseño mecánico del Sistema Nor-Oriental de Gas en los cruces de fallas geológicas
SUBTÍTULO	

AUTOR (ES):

APELLIDOS Y NOMBRES	CÓDIGO CULAC / E MAIL
Moreno G., César A.	CVLAC: 18.279.191 E MAIL: Cesarmorenog@hotmail.com
	CVLAC: E MAIL:
	CVLAC: E MAIL:
	CVLAC: E MAIL:

PALÁBRAS O FRASES CLAVES:

Gasoducto _____

Diseño _____

Espesores _____

Fallas Geológicas _____

Sismo _____

Deformación _____

Suelo _____

Elementos Finitos _____

METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO:

ÁREA	SUBÁREA
Ingeniería y ciencias aplicadas	Ingeniería Mecánica

RESUMEN (ABSTRACT):

En el siguiente trabajo de investigación se evaluó el diseño mecánico del sistema Nor-Oriental de gas en los cruces de fallas geológicas, ya que el corredor de éste se asienta en una zona de alta peligrosidad sísmica. Se empleó una metodología analítica para estimar los efectos de las cargas generadas sobre el gasoducto ante un evento sísmico donde la tubería cruza la falla. También, se utilizó la técnica de análisis por elementos finitos al usar el software de análisis de esfuerzos CAESAR II V4.40, para establecer comparaciones entre ambas metodologías de manera de determinar el grado de exactitud al emplear el método analítico. Se compararon los espesores de 14.27mm y 17.47mm estándar de tuberías API 5L X65 de 0.9144m de diámetro para determinar la factibilidad de su utilización en estas zonas. Ambas metodologías arrojaron valores de esfuerzos resultantes menores a los límites admisibles establecidos en las norma ASME B31.8 de *Sistemas de transporte y distribución de Gas* para las condiciones de carga al evaluar ambos espesores, lo que se traduce en una excelente integridad estructural del gasoducto.

METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO:**CONTRIBUIDORES:**

APELLIDOS Y NOMBRES	ROL / CÓDIGO CVLAC / E_MAIL				
Rengel, José	ROL	CA	AS X	TU	JU
	CVLAC:	9.278.475			
	E_MAIL				
	E_MAIL				
Valenzuela, Gustavo	ROL	CA	AS	TU X	JU
	CVLAC:	13.318.557			
	E_MAIL				
	E_MAIL				
Gomes, Carlos	ROL	CA	AS	TU	JU X
	CVLAC:	10.305.208			
	E_MAIL				
	E_MAIL				
Payares, Félix	ROL	CA	AS	TU	JU X
	CVLAC:	5.976.608			
	E_MAIL				
	E_MAIL				

FECHA DE DISCUSIÓN Y APROBACIÓN:

2009	04	15
AÑO	MES	DÍA

LENGUAJE. SPA

METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO:**ARCHIVO (S):**

NOMBRE DE ARCHIVO	TIPO MIME
Tesis. Evaluación mecánica SINORGAS.doc	Application/msword

CARACTERES EN LOS NOMBRES DE LOS ARCHIVOS: A B C D E F G H I J K L M N O
P Q R S T U V W X Y Z. a b c d e f g h i j k l m n o p q r s t u v w x y z. 0 1 2
3 4 5 6 7 8 9.

ALCANCE

ESPACIAL: Departamento de Ingeniería Proyecto SINORGAS (OPCIONAL)

TEMPORAL: 8 meses (OPCIONAL)

TÍTULO O GRADO ASOCIADO CON EL TRABAJO:

Ingeniero Mecánico

NIVEL ASOCIADO CON EL TRABAJO:

Pregrado

ÁREA DE ESTUDIO:

Departamento de Mecánica

INSTITUCIÓN:

Universidad de Oriente Núcleo Anzoátegui

METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO:**DERECHOS**

De acuerdo al Artículo 44 del reglamento de Trabajo de Grado: _____
“Los Trabajos de Grado son de exclusiva propiedad de la Universidad y solo podrán ser utilizados a otros fines, con el consentimiento del Consejo de Núcleo respectivo, quien lo participará al Consejo Universitario”

César Augusto Moreno Gómez

AUTOR

Prof. José E. Rengel

TUTOR

Prof. Félix Payares

JURADO

Prof. Carlos Gomes

JURADO

Ing. Gustavo Valenzuela

TUTOR

Prof. Delia Villarroel

POR LA SUBCOMISION DE TESIS