

TEMA II: Ingeniería geotécnica.

II.1.- ANTECEDENTES

De los 21.492 kilómetros que abarcará la sustitución del gasoducto, 14.312 km serán dentro del actual derecho de vía, a un lado del gasoducto existente, mientras que a lo largo de 7.180 km el gasoducto nuevo seguirá otra ruta, a través de un nuevo derecho de vía. El trazo del gasoducto corre en sentido sureste-noroeste, librando la ciudad de Jalapa, cerca de los poblados de El Castillo, La Haciendita, El Arenal, Banderilla, Xaltepec, Piedra de Agua, y Teapan, pertenecientes al Estado de Veracruz. La zona pertenece al extremo oriente del Eje Neovolcánico, con altitudes desde 2,033 m (en el kilómetro 88) hasta 1,154 m (en el kilómetro 68) sobre el nivel del mar. El derecho de vía de la tubería colindará principalmente con terrenos de cultivo y pastizales, pertenecientes a Rancherías cercanas, existiendo algunos cruzamientos con ríos, brechas, carreteras y ferrocarriles. La ubicación del trazo del gasoducto se ilustra en la Figura II.1.1.

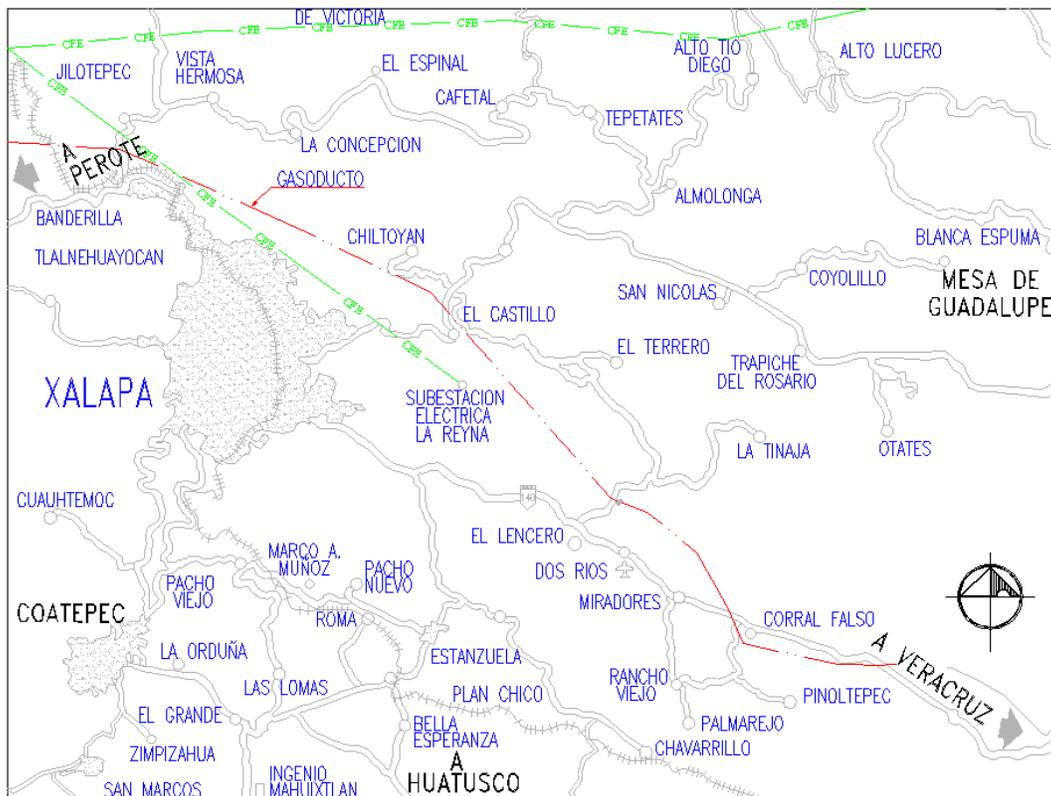


Figura II.1.1.- Trazo del Gasoducto (Libro de Proyecto, PEMEX GAS).

Este capítulo tiene por objetivo determinar la estratigrafía siguiendo el trazo del gasoducto, así como conocer las propiedades índice y mecánicas del suelo, tal que se obtengan parámetros de resistencia, módulo de reacción de la subrasante y permeabilidad, mismos que permitirán definir la estabilidad de la zanja que albergará la tubería, así como conocer y clasificar el material que se excavará.

II.2.- DESCRIPCIÓN DE LOS TRABAJOS REALIZADOS

Los trabajos realizados se dividen en dos categorías: (a) Exploración y muestreo, y (b) Ensayes de laboratorio. A continuación se describe cada uno.

EXPLORACIÓN Y MUESTREO

El programa de exploración efectuado consistió en la excavación de 44 pozos a cielo abierto. Su ubicación y la profundidad alcanzada en cada uno de ellos se indican a continuación. La

elevación indicada está referida al levantamiento topográfico realizado como parte de los trabajos preliminares.

Tabla II.2.1. <i>Programa de Exploración Realizado</i>			
POZO A CIELO ABIERTO	CADENAMIENTO (m)	PROFUNDIDAD (m)	UBICACIÓN
PCA-01	68+000	0.50	Derecho de vía original
PCA-02	68+500	2.00	Derecho de vía original
PCA-03	69+000	1.00	Derecho de vía original
PCA-04	69+500	0.60	Derecho de vía original
PCA-05	70+000	2.40	Derecho de vía original
PCA-06	70+500	2.00	Derecho de vía original
PCA-07	71+000	2.25	Derecho de vía original
PCA-07 A	72+000	1.10	Derecho de vía original
PCA-07 B	73+000	2.00	Derecho de vía original
PCA-07 C	74+000	2.00	Derecho de vía original
PCA-08	73+500	2.00	Desvío
PCA-09	74+000	2.00	Desvío
PCA-10	74+500	1.10	Desvío
PCA-11	75+000	2.00	Desvío
PCA-12	75+500	1.30	Desvío
PCA-13	76+000	2.00	Desvío
PCA-14	76+620	2.00	Desvío
PCA-15	77+000	2.00	Desvío
PCA-16	77+500	2.00	Desvío
PCA-17	78+000	2.10	Desvío
PCA-18	78+500	2.00	Desvío
PCA-19	79+020	2.00	Desvío
PCA-20	79+580	2.00	Desvío
PCA-21	80+150	2.00	Desvío
PCA-22	81+000	2.50	Derecho de vía original
PCA-23	81+500	2.00	Derecho de vía original
PCA-24	82+000	2.70	Derecho de vía original
PCA-25	82+500	2.10	Derecho de vía original
PCA-26	83+000	2.50	Derecho de vía original
PCA-27	83+500	0.50	Derecho de vía original
PCA-28	84+000	2.20	Derecho de vía original
PCA-29	84+500	2.00	Derecho de vía original
PCA-30	85+000	2.20	Derecho de vía original
PCA-31	85+500	2.40	Derecho de vía original
PCA-32	86+000	2.45	Derecho de vía original
PCA-33	86+300	2.45	Derecho de vía original
PCA-34	86+600	2.50	Derecho de vía original
PCA-34 ADIC	86+700	0.80	Derecho de vía original
PCA-35	86+900	0.60	Derecho de vía original
PCA-35 ADIC	87+120	1.20	Derecho de vía original
PCA-36	87+200	1.40	Derecho de vía original
PCA-36 ADIC	87+300	0.95	Derecho de vía original
PCA-37	87+500	1.00	Derecho de vía original
PCA-38	87+800	1.25	Derecho de vía original

Los pozos a cielo abierto fueron excavados con barreta, pico y pala. El personal empleado consistió en brigadas de dos a tres personas bajo las órdenes de un Ingeniero. Las dimensiones de la excavación en planta fueron 1.2 m por 1.6 m aproximadamente. La existencia de roca impidió en algunos pozos alcanzar la profundidad originalmente pretendida (2 m), tal y como se observa en la Tabla II.2.I. se obtuvo muestras alteradas de todos los pozos, para realizar pruebas de clasificación, límites de consistencia, distribución granulométrica y contenidos de agua. También se extrajeron muestras cúbicas selectivamente, de treinta centímetros de lado, útiles para labrar probetas de suelo inalteradas, empleadas en pruebas triaxiales.



Figura II.2.1.- Pozo a Cielo Abierto (Fotografía en sitio).

ENSAYES DE LABORATORIO

El programa de laboratorio realizado abarcó el siguiente alcance:

- (a) Pruebas de clasificación visual y al tacto
- (b) Pruebas de contenido de agua
- (c) Pruebas de densidad de sólidos (gravedad específica)
- (d) Pruebas de peso unitario
- (e) Pruebas de distribución granulométrica
- (f) Pruebas de límites de consistencia
- (g) Pruebas de resistencia triaxial, no consolidada no drenada
- (h) Pruebas de compresión simple

La descripción de los materiales en los que se realizaron estas pruebas y los resultados obtenidos se presentan en los subcapítulos II.3 y II.4. Su análisis se realiza en el subcapítulo II.5.

II.3.- GEOLOGÍA, FISIOGRAFÍA Y ESTRATIGRAFÍA DE LA ZONA

Entre los cadenamientos 68+000 al 88+000 el trazo del gasoducto corre en sentido sureste-noroeste, librando la ciudad de Jalapa, cerca de los poblados de El Castillo, La Haciendita, El Arenal, Banderilla, Xaltepec, Piedra de Agua, y Teapan, dentro del Estado de Veracruz. La

zona pertenece al extremo oriente del Eje Neovolcánico, con altitudes desde 2,033 m (en el kilómetro 88) hasta 1,154 m (en el kilómetro 68) sobre el nivel del mar.

En su porción más oriental, cerca de la Ciudad de Jalapa, la planicie elevada del Eje Neovolcánico desciende formando la región denominada vertiente, caracterizada por sucesiones de coladas basálticas, andesíticas y cenizas volcánicas. Los cerros ubicados en esta zona del Eje Neovolcánico están caracterizados por tener anchos lomos, con pendientes suaves, mismas que son aprovechadas como tierra de cultivo y pastoreo. Algunos cerros están separados entre sí por valles maduros, en los que los ríos y arroyos han erosionado intensamente las paredes del valle, dándoles una forma sensiblemente cóncava. El lecho de los ríos muestra gran cantidad de grava, boleos y cantos rodados, cuya forma redondeada indica un largo acarreo, mientras que el tamaño masivo de algunos cantos indica que los ríos han transportado grandes caudales durante las avenidas hidráulicas máximas históricas. Las laderas de los cerros descienden con pendientes suaves, que se extienden cientos de metros, hasta que en la proximidad con los ríos la pendiente se incrementa ligeramente hacia éstos, formando los valles maduros antes descritos.

Los cerros están labrados principalmente en basalto, que es una roca ígnea extrusiva cuyos minerales principales son los feldespatos y el grupo de los ferromagnesianos. En su estado original es de color gris oscuro, tiene textura afanítica y posee vesículas. Su resistencia es muy alta y la calidad de la roca es media a alta. Sin embargo, la roca próxima a la superficie no tiene las mismas propiedades, que se ven afectadas por los agentes del intemperismo (es decir, el clima y la precipitación pluvial).

A lo largo del trazo del gasoducto se pueden encontrar cuatro zonas con características geológicas distintas:

(1) Zonas con presencia de basalto poco intemperizado.- Esto ocurre en el tramo comprendido entre los cadenamientos 83+000 al 86+000 y 86+600 al 88+000, en los que la roca aflora en la superficie o bien se le encuentra a poca profundidad. Esta zona está caracterizada por lomeríos de pendiente suave, con un descenso generalizado hacia el oriente. El terreno está cubierto por densos pastizales que sobreyacen suelos muy húmedos, con muy poca capacidad de drenaje, debido a la impermeabilidad del basalto bajo ellos. De esta manera, el agua pluvial difícilmente se infiltra a profundidad y más bien corre superficialmente, algunas veces con caudales importantes. Prueba de ello se observa en el cadenamiento 86+900, donde un arroyo erosionó al material alrededor del gasoducto existente, exponiéndolo a la intemperie. La estratigrafía particular en estos cadenamientos se indica en las Figuras II.ANX-A.27 a II.ANX-A.33 y II.ANX-A.35 a II.ANX-A.39 (Ver Anexo A).

(2) Zonas con presencia de basalto moderadamente intemperizado.- Esto ocurre en el tramo comprendido entre los cadenamientos 86+000 al 86+600, en los que la roca desciende por debajo de los dos metros de profundidad y ya no es detectada en los pozos a cielo abierto sino únicamente en cortes naturales cercanos al trazo del gasoducto. El terreno presenta una fuerte pendiente que desciende hacia el oriente. La estratigrafía particular en estos cadenamientos se indica en las Figuras II.ANX-A.33 a II.ANX-A.35 (Ver Anexo A).

(3) Zonas sujetas a altos niveles de intemperismo.- Esto ocurre a partir del cadenamiento 71+000 al 74+781 y 80+536 al 81+500, en el derecho de vía original del gasoducto, así como en los cadenamientos 73+239 al 80+536 a lo largo del desvío. La roca basáltica no fue detectada a pesar de la presencia de fuertes cortes naturales o hechos por el hombre, de gran espesor. Esta zona se caracteriza principalmente por potentes estratos de arcilla limosa, color café rojizo, plástica, húmeda, de gran espesor. Esa arcilla es el producto de la intemperización química de los minerales del basalto y debido a la temperatura y humedad de la zona, el espesor intemperizado alcanza decenas de metros. El color rojizo presente en la arcilla proviene del óxido de hierro, que constituye un cementante importante que proporciona cohesión a la arcilla. La fisiografía del terreno en este segmento del trazo de la tubería muestra una cadena de cerros con fuertes pendientes, divididos por valles maduros donde hay presencia de ríos y arroyos. A pesar de la abrupta topografía, la resistencia del suelo en estas zonas es alta, permitiendo la estabilidad de estas pendientes. A lo largo del recorrido no se

notó evidencia de deslizamientos de tierra. La estratigrafía particular en estos cadenamientos se indica en las Figuras II.ANX-A.8 a II.ANX-A.24 (Ver Anexo A).

(4) Zonas cubiertas por tobas volcánicas.- En los cadenamientos 81+500 al 83+000 y 68+000 al 71+000, existen depósitos de toba volcánica, que consiste en arena limosa con grava y boleos aislados empacados en una matriz de arcilla y vidrio volcánico, de consistencia dura, capaz de soportar fuertes taludes naturales o hechos por el hombre. Estos depósitos son aprovechados para la explotación de bancos de materiales, tales como los ubicados a la altura del cadenamiento 82+300, en los que existen cortes de más de 50 m de altura, donde no se aprecia el basalto. En esos bancos de materiales se explota arcilla, arena y grava. La estratigrafía particular en estos cadenamientos se indica en las Figuras II.ANX-A.2 a II.ANX-A.8 y II.ANX-A.24 a II.ANX-A.27 (Ver Anexo A).

No se realizaron mediciones directas del nivel freático mediante la instalación de tubos de observación por estar fuera del alcance del Estudio. Aparentemente, en ninguno de los pozos excavados se alcanzó dicho nivel, sin embargo, ya que los pozos fueron rellenados a las pocas horas de excavados, no hubo en realidad tiempo suficiente para determinar si entraba agua a la excavación.

II.4.- PRUEBAS DE LABORATORIO

El programa de laboratorio realizado abarcó el siguiente alcance:

- (a) Pruebas de clasificación visual y al tacto
- (b) Pruebas de contenido de agua
- (c) Pruebas de densidad de sólidos (gravedad específica)
- (d) Pruebas de peso unitario
- (e) Pruebas de distribución granulométrica
- (f) Pruebas de límites de consistencia
- (g) Pruebas de resistencia triaxial, no consolidada no drenada
- (h) Pruebas de compresión simple

Los resultados de las pruebas se resumen en las Tablas II.5.I y II.5.II.

II.5.- ANÁLISIS DE RESULTADOS

Los resultados obtenidos en las pruebas de laboratorio para determinar las propiedades índice y mecánicas se enlistan a continuación.

**Tabla II.5.I.
RESULTADOS DE PRUEBAS DE LABORATORIO**

POZO	CADENAMIENTO	MUESTRA	PROF. (m)	DESCRIPCIÓN	S _s	γ _m	w (%)	PROPIEDADES						INDICE			
								LÍMITES DE CONSISTENCIA		DISTRIBUCIÓN GRANULOMÉTRICA		GRAVA (%)	ARENA (%)	FINOS (%)	IP (%)	LL (%)	LP (%)
								LL (%)	LP (%)	GRAVA (%)	ARENA (%)						
PCA-01	68+000	M-1	0.3	Arena con limo, arcilla y gravillas de pómez	2.66	1,592	21	0	0	0	0	0	3	37	60		
PCA-02	68+500	M-1	0.8	Arena con limo, arcilla y gravillas de pómez	2.65	1,685	26	0	0	0	0	0	2	40	58		
		M-2	1.9	Arena con limo, arcilla y gravillas de pómez	2.66	1,611	31	0	0	0	0	0					
PCA-03	69+000	M-1	0.7	Arena con limo, arcilla y gravillas de pómez	2.67	1,654	22	0	0	0	0	11	63	26			
PCA-04	69+500	M-1	0.5	Arena con limo, arcilla y gravillas de pómez	2.67	1,667	21	0	0	0	0	2	60	38			
PCA-05	70+000	M-1	0.7	Arcilla con poca arena y limo	2.70	1,262	35	18	38	20	0						
		M-2	1.6	Arcilla con poca arena y limo	2.71	1,248	30	16	34	18	0	0	45	55			
PCA-06	70+500	M-1	0.4	Arena con limo, arcilla y gravillas de pómez	2.66	1,589	26	0	0	0	0	2	34	64			
		M-2	1.8	Arena con limo, arcilla y gravillas de pómez	2.66	1,625	34	0	0	0	0						
PCA-07	71+000	M-1	0.5	Arena limosa, con poca arcilla y gravillas de pómez	2.65	1,555	27	0	0	0	0						
		M-2	1.6	Arena limosa, con poca arcilla y gravillas de pómez	2.66	1,621	35	0	0	0	2	36	62				
PCA-07A	72+000	M-1	0.8	Arena limosa, con poca arcilla y gravillas de pómez	2.66	1,514	22	0	0	0	6	48	46				
PCA-07B	73+000	M-1	0.4	Arena limosa, con poca arcilla y gravillas de pómez	2.72	1,571	24	0	0	0	0						
		M-2	1.6	Arcilla con poco limo, color café rojizo	2.72	1,252	34	24	40	16	0	6	94				
PCA-07C	74+000	M-1	0.5	Arcilla con poco limo, color café rojizo	2.71	1,214	27	13	30	17							
		M-2	1.6	Arcilla con poco limo, color café rojizo	2.71	1,276	35	19	40	21	0	5	95				
PCA-08	73+500	M-1	0.6	Arcilla con poco limo, color café rojizo	2.71	1,221	30	20	49	29	0	6	94				
		M-2	1.8	Arcilla con poco limo, color café rojizo	2.70	1,231	40	21	51	30							
PCA-09	74+000	M-1	0.4	Arcilla con poco limo, color café rojizo	2.72	1,264	27	22	48	26							
		M-2	1.7	Arcilla con poco limo, color café rojizo	2.70	1,215	38	26	51	25	2	38	60				

NOMENCLATURA:

S_s = Densidad de sólidos (adimensional)
 γ_m = Peso unitario del material (ton/m³)
 w = Contenido de agua del suelo, en porcentaje
 LL = Límite líquido del suelo, en porcentaje
 LP = Límite plástico del suelo, en porcentaje
 IP = Índice plástico del suelo, en porcentaje

Tabla II.5.I. RESULTADOS DE PRUEBAS DE LABORATORIO (continuación)

POZO	CADENAMIENTO	MUESTRA	PROF. (m)	DESCRIPCIÓN	S _s	γ _m	w (%)	PROPIEDADES Y LÍMITES DE CONSISTENCIA						DISTRIBUCIÓN GRANULOMÉTRICA	
								LÍMITES DE CONSISTENCIA		IP (%)	GRAVA (%)	ARENA (%)	FINOS (%)	GRAVA (%)	FINOS (%)
								LP (%)	LL (%)						
PCA-10	74+500	M-1	0.8	Toba volcánica	2.66	1,803	31	0	0	0	0	0	0	82	18
PCA-11	75+000	M-1	0.5	Arcilla con poco limo, color café rojizo	2.72	1,268	32	25	27	0	0	0	5	95	
		M-2	1.6	Arcilla con poco limo, color café rojizo	2.72	1,215	39	24	31	0	0	0	0	0	
PCA-12	75+500	M-1	0.6	Toba volcánica	2.66	1,768	33	0	0	0	0	5	80	15	
PCA-13	76+000	M-1	0.4	Arcilla con poco limo, color café rojizo	2.71	1,255	30	22	29	0	0	0	11	89	
		M-2	1.6	Arcilla con poco limo, color café rojizo	2.71	1,217	37	23	30	0	0	0	0	0	
PCA-14	76+620	M-1	0.6	Arcilla con poco limo, color café rojizo	2.73	1,256	26	21	28	0	0	0	21	79	
		M-2	1.8	Arcilla con poco limo, color café rojizo	2.72	1,265	30	25	27	0	0	0	0	0	
PCA-15	77+000	M-1	0.6	Arcilla con poco limo, color café rojizo	2.72	1,214	33	25	24	0	0	0	9	91	
		M-2	1.7	Arcilla con poco limo, color café rojizo	2.72	1,254	40	24	31	0	0	0	21	79	
PCA-16	77+500	M-1	0.5	Arcilla con poco limo, color café rojizo	2.73	1,250	34	21	29	0	0	0	12	88	
		M-2	1.8	Arcilla con poco limo, color café rojizo	2.72	1,245	42	25	30	0	0	0	0	0	
PCA-17	78+000	M-1	0.4	Arcilla con poco limo, color café rojizo	2.73	1,254	30	22	24	0	0	0	7	93	
		M-2	1.7	Arcilla con poco limo, color café rojizo	2.73	1,234	36	24	25	0	0	0	0	0	
PCA-18	78+500	M-1	0.6	Arcilla con poco limo, color café rojizo	2.73	1,225	34	21	28	0	0	0	4	96	
		M-2	1.6	Arcilla con poco limo, color café rojizo	2.73	1,264	42	24	29	0	0	0	0	0	
PCA-19	79+020	M-1	0.5	Arcilla con poco limo, color café rojizo	2.72	1,244	36	22	29	0	0	0	29	71	
		M-2	1.7	Arcilla con poco limo, color café rojizo	2.72	1,206	37	23	33	0	0	0	0	0	
PCA-20	79+580	M-1	0.9	Arcilla con poco limo, color café rojizo	2.72	1,257	33	24	26	0	0	0	31	69	
		M-2	1.9	Arcilla con poco limo, color café amarillento	2.72	1,226	41	24	31	0	0	0	88	12	
PCA-21	80+150	M-1	0.6	Arcilla con poco limo, color café rojizo	2.73	1,264	32	21	28	0	0	0	3	97	
		M-2	1.8	Arcilla con poco limo, color café rojizo	2.72	1,225	39	23	32	0	0	0	0	0	
PCA-22	81+000	M-1	0.5	Arcilla con poco limo y poca arena, color café rojizo	2.72	1,221	30	22	29	0	0	0	7	93	
		M-2	1.7	Arcilla con poco limo y poca arena, color café rojizo	2.73	1,254	36	24	33	0	0	0	0	0	
PCA-23	81+500	M-1	0.6	Arcilla con poco limo y poca arena (matriz)	2.69	1,280	36	23	21	0	0	4	25	71	
		M-2	1.6	Arcilla con poco limo y poca arena (matriz)	2.68	1,294	41	26	20	0	0	0	0	0	

NOMENCLATURA:

S_s = Densidad de sólidos (adimensional)
 γ_m = Peso unitario del material (ton/m³)
 w = Contenido de agua del suelo, en porcentaje
 LL = Límite líquido del suelo, en porcentaje
 LP = Límite plástico del suelo, en porcentaje
 IP = Índice plástico del suelo, en porcentaje

Tabla II.5.I. RESULTADOS DE PRUEBAS DE LABORATORIO (continuación)

POZO	CADENAMIENTO	MUESTRA	PROF. (m)	DESCRIPCIÓN	S _s	γ _m	w (%)	PROPIEDADES							ÍNDICE	
								LÍMITES DE CONSISTENCIA			DISTRIBUCIÓN GRANULOMÉTRICA				FINOS (%)	
								LP (%)	LL (%)	IP (%)	GRAVA (%)	ARENA (%)				
PCA-24	82+000	M-1	0.5	Arcilla de alta plasticidad, contiene grumos de arena	2.72	1,247	30	18	66	48	1	25	74			
		M-2	2.1											2.67	32	69
PCA-25	82+500	M-0		Arcilla de alta plasticidad, contiene grumos de arena	2.73	1,287	32	18	70	52	2	65	35			
		M-1	0.9											2.72	37	76
PCA-26	83+000	M-1	0.7	Limo arcilloso con materia orgánica	2.69	1,305	32	29	44	15	0	36	64			
		M-2	1.8											2.68	40	49
PCA-27	83+500	M-1	0.4	Arcilla con poco limo y poca arena (matriz)	2.68	1,341	30	22	43	21	12	30	58			
PCA-28	84+000	M-1	0.4	Arcilla con materia orgánica	2.73	1,254	39	16	59	43						
		M-2	1.6											2.69	41	51
PCA-29	84+500	M-1	0.5	Arcilla con poco limo y poca arena, color café claro	2.72	1,259	36	21	41	20	0	24	76			
		M-2	1.0											2.71	41	38
PCA-30	85+000	M-1	1.2	Limo con arena, poca arcilla y poca grava	2.69	1,336	20	6	24	18	1	19	80			
		M-2	1.8											2.68	24	18
PCA-31	85+500	M-1	0.5	Limo con arena, poca arcilla y poca grava	2.68	1,296	19	18	21	3	2	20	78			
		M-2	1.5											2.69	27	30
PCA-32	86+000	M-1	0.6	Limo con arena, poca arcilla y poca grava	2.69	1,395	24	24	29	5						
		M-2	2.0											2.69	27	32
PCA-33	86+300	M-1	0.5	Limo con arena, poca arcilla y poca grava	2.69	1,364	21	19	24	5	5					
		M-2	1.9											2.68	25	31

NOMENCLATURA:

S_s = Densidad de sólidos (adimensional)
 γ_m = Peso unitario del material (ton/m³)
 w = Contenido de agua del suelo, en porcentaje
 LL = Límite líquido del suelo, en porcentaje
 LP = Límite plástico del suelo, en porcentaje
 IP = Índice plástico del suelo, en porcentaje

Tabla II.5.I. RESULTADOS DE PRUEBAS DE LABORATORIO (continuación)

POZO	CADENAMIENTO	MUESTRA	PROF (m)	DESCRIPCIÓN	S _s	γ _m	w (%)	PROPIEDADES INDICE						
								LÍMITES DE CONSISTENCIA			DISTRIBUCIÓN GRANULOMÉTRICA			
								LP (%)	LL (%)	IP (%)	GRAVA (%)	ARENA (%)	FINOS (%)	
PCA-34	86+600	M-1	0.8	Limo con arena, poca arcilla y poca grava	2.68	1,365	24	23	30	7				
		M-2	2.2											
PCA-34-ADIC	86+700	M-1	0.5	Limo con arena, poca arcilla y poca grava	2.68	1,511	28	19	30	11	34	31	35	
PCA-35	86+900	M-1	0.5	Arcilla con poco limo y poca arena (matriz)	2.67	1,526	22	14	31	17	77	21	2	
PCA-35-ADIC	87+120	M-1	0.8	Limo con arena, poca arcilla y poca grava	2.69	1,576	24	16	28	12	52	34	14	
PCA-36	87+200	M-1	0.4	Limo con arena, poca arcilla y poca grava	2.68	1,598	19	18	23	5				
		M-2	1.2											
PCA-36-ADIC	87+300	M-1	0.8	Limo con arena, poca arcilla y poca grava	2.68	1,606	28	18	35	17	22	26	52	
PCA-37	87+500	M-1	0.3	Limo con arena, poca arcilla y poca grava	2.68	1,548	18	20	22	2	2	24	74	
		M-2	0.9											
PCA-38	87+800	M-1	0.2	Limo arcilloso con materia orgánica	2.69	1,312	25	23	45	22				
		M-2	1.1											

NOMENCLATURA:

S_s = Densidad de sólidos (adimensional)
 LL = Límite líquido del suelo, en porcentaje
 γ_m = Peso unitario del material (ton/m³)
 LP = Límite plástico del suelo, en porcentaje
 w = Contenido de agua del suelo, en porcentaje
 IP = Índice plástico del suelo, en porcentaje

II.6.- PROCEDIMIENTO DE EXCAVACIÓN RECOMENDADO

A continuación se hacen recomendaciones acerca del procedimiento de excavación para abrir las zanjas donde se instalará la tubería. Ya que el gasoducto se construirá dentro de un derecho de vía, será posible excavar en talud, sin afectar a ninguna colindancia.

Se recomienda que la excavación se realice por medios mecánicos, clasificando al material para pago de excavaciones como se indica en los perfiles estratigráficos de cada pozo (Figuras II.ANX-A.2 a II.ANX-A.39). Para excavar la arcilla, toba y limo resultará suficiente emplear la pala de una retroexcavadora, mientras que para excavar el basalto será necesario montarle una rompedora de impacto. No se considera necesario el empleo de un sistema de retención de las paredes de la excavación.

A lo largo de todo el trazo del gasoducto, el suelo en profundidades menores que 3 m puede considerarse como cohesivo y por ello se propone que los taludes excavados hasta 3 m de profundidad para la construcción de cimentaciones tengan pendientes máximas de 1:3 (H:V). No se recomienda excavar con pendientes mayores aún tratándose de roca.

No se realizaron mediciones directas del nivel freático mediante la instalación de tubos de observación por estar fuera del alcance del Estudio. Aparentemente, en ninguno de los pozos excavados se alcanzó dicho nivel, sin embargo, ya que los pozos fueron rellenados a las pocas horas de excavados, no hubo en realidad tiempo suficiente para determinar si entraba agua a la excavación. De cualquier manera, debido a la baja permeabilidad de los suelos involucrados, una bomba de achique de 8 hp debe resultar suficiente para drenar zanjas de hasta 50 m de longitud.

Para rellenar la zanja puede emplearse el material producto de la excavación, cuando éste se encuentre libre de materia orgánica e impurezas. Cuando esto no ocurra deberá emplearse material granular proveniente de banco, inerte. El material de relleno deberá compactarse en capas de hasta 15 cm de espesor hasta alcanzar el 95 % del peso volumétrico seco máximo determinado en la prueba Proctor Estándar.

II.7.- CLASIFICACIÓN DEL MATERIAL PARA EL PAGO DE EXCAVACIONES

Todos los materiales descritos en los perfiles estratigráficos han sido clasificados tomando como base la Norma-PEMEX 3.121.08. La clasificación aparece directamente en la descripción de cada estrato (Figuras II.ANX-A.02 a II.ANX-A.39).

II.8.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- 1.- Se efectuó un programa de exploración del subsuelo, compuesto por 44 pozos a cielo abierto, cubriendo los cadenamientos 68+000 al 88+000 a lo largo del trazo del gasoducto. Se pueden encontrar cuatro zonas con características geológicas distintivas que se describieron en el subcapítulo II.3.
- 2.- Las propiedades índice y las propiedades mecánicas determinadas en pruebas de laboratorio se presentan en las tablas pertenecientes al subcapítulo II.5.
- 3.- Se recomienda que la excavación para abrir las zanjas donde se instalará la tubería se realice por medios mecánicos, clasificando al material para pago de excavaciones como se indica en los perfiles estratigráficos de cada pozo (Figuras II.ANX-A.02 a II.ANX-A.38), o bien empleando la Tabla II.8.I.

Tabla II.8.I

CLASIFICACIÓN DEL MATERIAL PARA PAGO DE EXCAVACIONES				
CADENAMIENTO	UBICACIÓN	MATERIAL A	MATERIAL B	MATERIAL C
68+000 al 71+000	DDV original	60%	30%	10%
71+000 al 74+781	DDV original	70%	20%	10%
73+239 al 80+536	Desvío	90%	10%	0%
80+536 al 81+500	DDV original	90%	10%	0%
81+500 al 83+000	DDV original	70%	30%	0%
83+000 al 86+000	DDV original	30%	20%	50%
86+000 al 86+600	DDV original	10%	20%	70%
86+600 al 88+000	DDV original	5%	5%	90%

4.- Para excavar la arcilla, toba y limo resultará suficiente emplear la pala de una retroexcavadora, mientras que para excavar el basalto será necesario montarle una rompedora de impacto. No se considera necesario el empleo de un sistema de retención de las paredes de la excavación.

5.- A lo largo de todo el trazo del gasoducto, el suelo en profundidades menores que 3 m puede considerarse como cohesivo y por ello se propone que los taludes excavados hasta 3 m de profundidad para la construcción de cimentaciones tengan pendientes máximas de 1:3 (H:V). No se recomienda excavar con pendientes mayores aún tratándose de roca.

6.- No se realizaron mediciones directas del nivel freático mediante la instalación de tubos de observación por estar fuera del alcance del estudio. Aparentemente, en ninguno de los pozos excavados se alcanzó dicho nivel, sin embargo, ya que los pozos fueron rellenados a las pocas horas de excavados, no hubo en realidad tiempo suficiente para determinar si entraba agua a la excavación. De cualquier manera, debido a la baja permeabilidad de los suelos involucrados, una bomba de achique de 8 hp debe resultar suficiente para drenar zanjas de hasta 50 m de longitud.

7.- Para rellenar la zanja puede emplearse el material producto de la excavación, cuando éste se encuentre libre de materia orgánica e impurezas. Cuando esto no ocurra deberá emplearse material granular proveniente de banco, inerte. El material de relleno deberá compactarse en capas de hasta 15 cm de espesor hasta alcanzar el 95 % del peso volumétrico seco máximo determinado en la prueba Proctor Estándar.