

79  
24



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA  
DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

"ALTERNATIVA PARA LA CONSTRUCCION DEL  
GASODUCTO MFRIDA"

**TESIS PROFESIONAL**  
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE  
INGENIERA CIVIL  
P R E S E N T A :  
ARELY ROBLES BOLAÑOS

DIRECTOR: ING. LUIS ZARATE ROCHA



MEXICO, D. F.

1998

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

6122



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



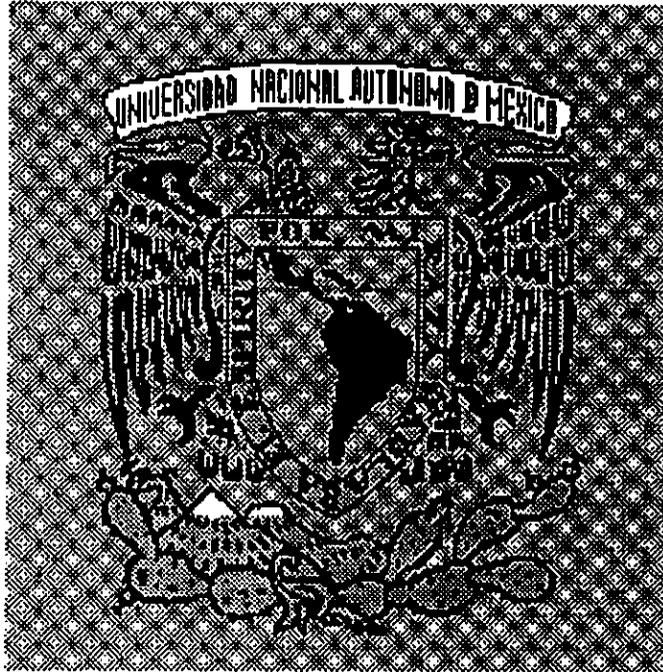
**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

# **UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**



## **FACULTAD DE INGENIERÍA**

TESIS PROFESIONAL

"ALTERNATIVA PARA LA CONSTRUCCIÓN DEL GASODUCTO  
MÉRIDA"

DIRECTOR: ING. LUIS ZARATE ROCHA

POR : ARELY ROBLES BOLAÑOS



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA DE  
MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERIA  
DIRECCION  
60-1-078/97

Señorita  
**ARELY ROBLES BOLAÑOS**  
Presente

En atención a su solicitud me es grato hacer de su conocimiento el tema que propuso el profesor **ING. LUIS ZARATE ROCHA**, que aprobó esta Dirección, para que lo desarrolle usted como tesis de su examen profesional de **INGENIERO CIVIL**.

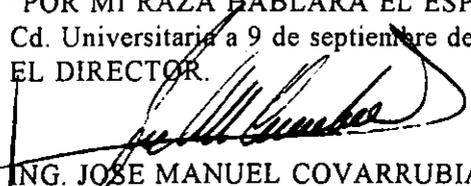
**"ALTERNATIVA PARA LA CONSTRUCCION DEL GASODUCTO MERIDA"**

- INTRODUCCION**
- I. ANTECEDENTES**
- II. JUSTIFICACION DEL PROYECTO**
- III. CONSTRUCCION DEL PROYECTO**
- IV. ANALISIS FINANCIERO**
- V. OPERACION DEL GASODUCTO**
- VI. CONCLUSIONES**
- BIBLIOGRAFIA**

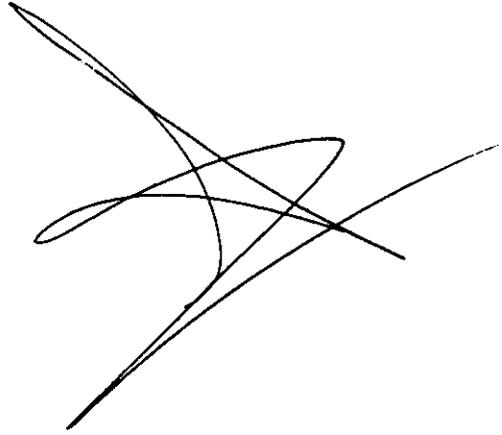
Ruego a usted cumplir con la disposición de la Dirección General de la Administración Escolar en el sentido de que se imprima en lugar visible de cada ejemplar de la tesis el título de ésta.

Asimismo le recuerdo que la Ley de Profesiones estipula que deberá prestar servicio social durante un tiempo mínimo de seis meses como requisito para sustentar Examen Profesional.

Atentamente  
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"  
Cd. Universitaria a 9 de septiembre de 1997.  
EL DIRECTOR.

  
ING. JOSE MANUEL COVARRUBIAS SOLIS

JMCS/GMP\*lmf



## DEDICATORIAS

† A mi mamá y mi abuelito.

A mi papá, por su importante apoyo y ejemplo.

A mi abuelita, por su aliento y paciencia.

A mis hermanos Marilé y Paco, con mucho cariño.

A mis tíos Marian, Lulú y Aroldo, por su confianza.

A mi sobrino Mauricio y mi primo Pepe, para que alcancen sus logros académicos y de vida.

A Mali, Malichin, Marisol, Lolis, Pili y Eduardo, que han formado parte en mi vida.

A José que me brinda su cariño y me ha alentado y apoyado incondicionalmente.

## AGRADECIMIENTOS

Al Ing. Martín Cordero por su gran ayuda.

A mis amigas Nancy, Karla, Vicky, por los grandes ratos en la Universidad.

A mi amiga Nora y esposo.

A José, Juan, Clemente, Federico, Liz, Malichin, por su ayuda en la investigación y la motivación.

## INDICE

|   |     |
|---|-----|
| INTRODUCCIÓN .....  | 1   |
| 1. ANTECEDENTES.....                                      | 3   |
| 2. JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO                             |     |
| 2.1 Requerimientos de energía eléctrica.....              | 6   |
| 2.2 Situación de la Península de Yucatán.....             | 12  |
| 2.3 Análisis de alternativas de construcción .....        | 14  |
| 2.4 Estudios necesarios.....                              | 22  |
| 2.4.1 Topográficos .....                                  | 23  |
| 2.4.2 Mecánica de Suelos .....                            | 31  |
| 2.4.3 Impacto Ambiental .....                             | 48  |
| 2.4.4 Diseño .....  | 57  |
| 3. CONSTRUCCIÓN DEL PROYECTO                              |     |
| 3.1 Línea de Conducción.....                              | 62  |
| 3.2 Estaciones de medición y compresión.....              | 72  |
| 3.3 Obras especiales para recepción y entrega de gas..... | 78  |
| 4. ANÁLISIS FINANCIERO                                    |     |
| 4.1 Análisis.....   | 88  |
| 4.2 Evaluación Financiera .....                           | 91  |
| 5. OPERACIÓN DEL GASODUCTO                                |     |
| 5.1 Esquema Operativo.....                                | 102 |
| 5.2 Servicio y mantenimiento.....                         | 109 |
| 6. CONCLUSIONES.....                                      | 114 |
| BIBLIOGRAFÍA.....   | 117 |
| APÉNDICE.....   | 119 |

## INTRODUCCIÓN

Las altas tasas de crecimiento de la demanda de energía eléctrica en México nos han llevado a una continua renovación de la tecnología y a la investigación del aprovechamiento de diversas fuentes de generación de energía eléctrica.

La hidroelectricidad ha venido perdiendo participación a pesar del considerable aumento en su capacidad instalada, que se elevó a más de 50%, el crecimiento más elevado se encuentra en la capacidad de generación a base de hidrocarburos, que se incrementó en poco más del 100% desde 1980, con una tasa acumulativa de 5.1%

Las diversidad y magnitud de generar energía eléctrica nos han dado una amplia posibilidad de acción de campo, las termoeléctricas ofrecen una flexibilidad para el crecimiento en su capacidad instalada que las hace atractivas; cabe mencionar que las termoeléctricas por su tipo de generación puede ser de varias formas:

- Vapor
- Combustión interna
- Turbogas
- Ciclo combinado
- Geotermoeléctricas
- Carboeléctricas
- Nucleoeléctricas
- Duales

En la Península de Yucatán como en muchas otras entidades de México, la demanda de energía tanto en el sector doméstico como en el industrial, ha aumentado por lo que se ha buscado una solución a la necesidad de energía, siendo que la demanda de energía eléctrica está determinada por numerosos factores, entre ellos el crecimiento demográfico, el estilo de desarrollo, las condiciones climáticas y geográficos.

Una alternativa propuesta en este trabajo es utilizar las termoeléctricas ya construidas y generar otras tres nuevas con un abasto seguro de gas natural por medio de un gasoducto. Dado que el gas natural es un combustible limpio, su utilización será favorable en el medio ambiente de la región.

El gasoducto será un sistema de red de ductos que partirá de Ciudad Pemex, Tabasco a Valladolid, Yucatán, a su paso contará con el abastecimiento de las termoeléctricas Lerma, Nachicom, Mérida II y Valladolid de Vapor, y Valladolid Ciclo Combinado, y las futuras Campeche, Mérida III y Valladolid.

Se presentará una propuesta de la ruta del gasoducto donde se opta la alternativa subterránea para generar el menor impacto ambiental posible y siguiendo a un gasoducto hecho con anterioridad.

Se propondrán los parámetros más importantes para el diseño de las estaciones de entrega, recepción y la de compresores, con sus estaciones de medición y limpieza para este gasoducto.

Se contará con un sistema de central de operaciones de control que será una alternativa para automatizar al gasoducto y evitar cualquier situación anormal.

También se tocará el tema de servicio y mantenimiento que deberá tener este sistema ya que este asegurará el suministro del combustible para la generación de la energía eléctrica de la Península

Este trabajo presenta una propuesta sustentada en estudios topográficos y de mecánica de suelos, siendo este gasoducto sólo una alternativa de una infinidad de opciones que se puedan estudiar y adoptar.

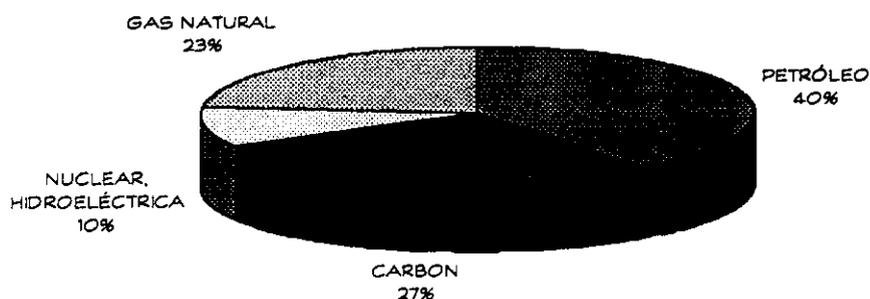
## 1. ANTECEDENTES.

### PRINCIPALES CARACTERISTICAS DEL GAS

El gas natural constituido fundamentalmente de metano, es una mezcla de hidrocarburos de bajo peso molecular, a base de diversos componentes que dependen de la formación geológica de los pozos que los contienen. Es utilizado como materia prima en la industria petroquímica y como combustible en la industria petrolera.

El gas natural ocupa el tercer lugar en el consumo de energía con el 23%, siendo que el petróleo ocupa el primer lugar con el 40%, el carbón el segundo con el 27 % y el restante de energía nuclear e hidroeléctrica pudiéndose llegar a colocar en aproximadamente una década en la segunda fuente de energía primaria en importancia a nivel mundial.

#### PANORAMA INTERNACIONAL



La demanda nacional de energía está conformada fundamentalmente por el consumo del propio sector energético y por sectores de consumo final como: transportes, agropecuario, industrial, residencial, comercial y público. El consumo de gas natural tiende a incrementarse en el país, debido a las políticas ambientales de sustitución de combustible convencionales.

Se tienen ocho centros de procesamiento de gas localizados en Cactus, Ciudad Pemex, Nuevo Pemex, La Venta, Matapionche, Pajaritos, Poza Rica y Reinosa.

Actualmente se cuenta con un sistema de gasoductos cuya longitud alcanza 11,877 kilómetros. De este total el 86% corresponden a transporte y el 14% restante a la red de distribución entre troncales y ramales.

REGIONALIZACIÓN DEL MERCADO DEL GAS NATURAL EN MÉXICO

| REGION PENINSULAR NORTE                | REGION NOROESTE                           | REGION NORESTE  | REGION OCCIDENTE  | REGION CENTRO   | REGION GOLFO        | REGION PACIFICO SUR           | REGION PENINSULAR SURESTE |
|--|---|---|---|---|---------------------|-------------------------------|---------------------------|
| Baja California<br>Baja California Sur | Chihuahua<br>Durango<br>Sinaloa<br>Sonora | Coahuila<br>Nuevo León<br>S.L.P.<br>Tamaulipas<br>Zacatecas | Aguascalientes<br>Colima<br>Guanajuato<br>Jalisco<br>Michoacán<br>Nayarit | D.F.<br>Hidalgo<br>Edo.México<br>Morelos<br>Puebla<br>Querétaro<br>Tlaxcala | Tabasco<br>Veracruz | Chiapas<br>Guerrero<br>Oaxaca |                           |

RED DE DUCTOS DE GAS NATURAL 1996 (KILÓMETROS)

| Región /Tipo              | Transporte | Distribución |
|---------------------------|------------|--------------|
| Noroeste y Noreste        | 4,120      | 130          |
| Occidente y Centro        | 2,701      | 1,459        |
| Pacífico Sur <sup>a</sup> | 3,428      | 39           |
| TOTAL                     | 10,249     | 1,628        |

<sup>a</sup> Incluyendo de La Venta a Cd Pemex

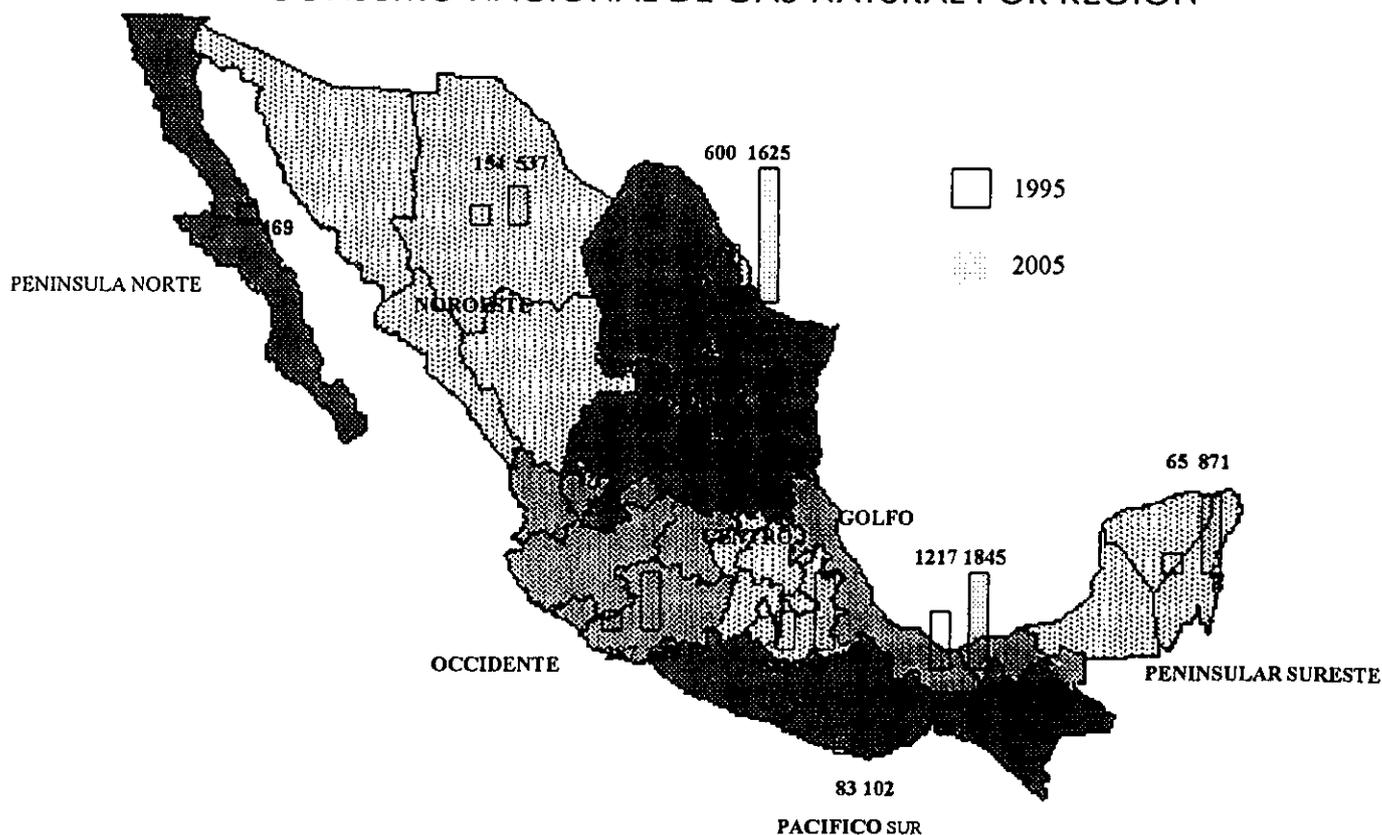
FUENTE: con base a PGPB y Diario Oficial de la Federación, miércoles 7 de octubre de 1996.

En el período de 1996 y 2005, se espera que el consumo nacional de gas natural seco, presente un crecimiento considerable, tomando en cuenta la sustitución entre combustibles; y los cambios en los hábitos de consumo doméstico.

CONSUMO NACIONAL DE GAS NATURAL SECO POR SECTOR 1996-2000(MMPCD)

| SECTOR                | 1996    | 2000    |
|-----------------------|---------|---------|
| Eléctrico             | 526.2   | 1,073.7 |
| Pemex (autoconsumo)   | 1329.6  | 2,202.6 |
| Pemex (materia prima) | 262.3   | 277.3   |
| Industrial            | 950.9   | 1,359.9 |
| Doméstico             | 96.3    | 139.4   |
| Total Nacional        | 3,165.3 | 5,052.9 |

CONSUMO NACIONAL DE GAS NATURAL POR REGIÓN



## 2. JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO.

### 2.1 REQUERIMIENTOS DE ENERGÍA ELÉCTRICA

#### GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA

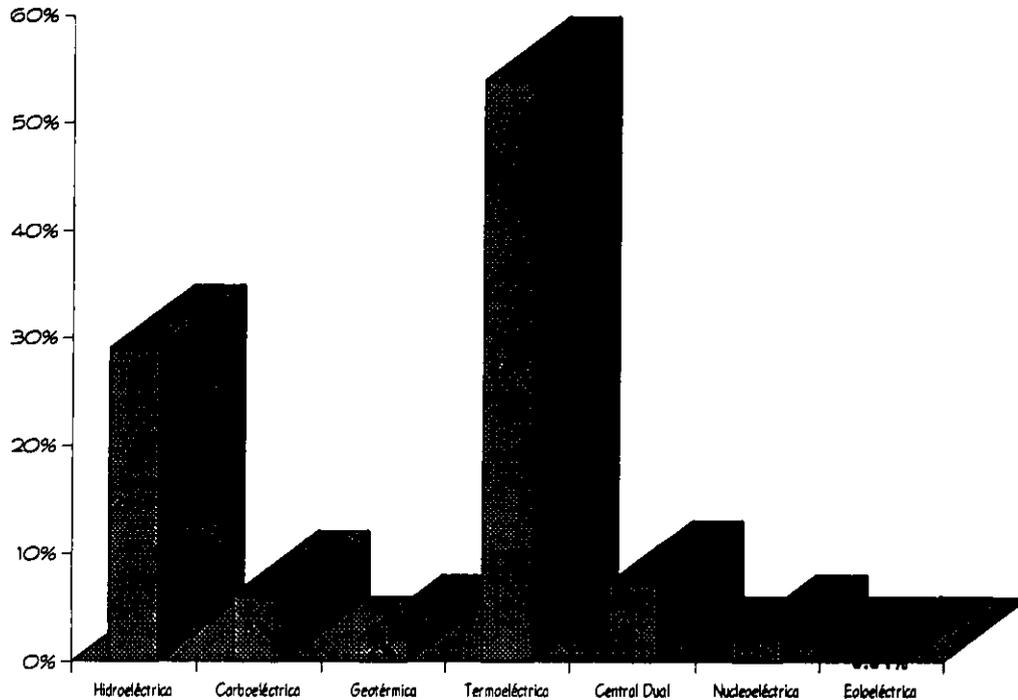
La demanda de energía eléctrica está determinada por numerosos factores, entre ellos el crecimiento demográfico, el estilo de desarrollo y el ritmo de la actividad económica, las condiciones climáticas y geográficas, los cambios tecnológicos, y los niveles tarifarios.

La generación de energía eléctrica en México se realiza por de todas las tecnologías disponibles en la actualidad, desde las tradicionales hidroeléctricas y termoeléctricas, hasta modernas plantas de energía solar, eólica y nuclear.

A finales de 1994 la Comisión Federal de Electricidad contaba con una capacidad productiva de más de 31,600 megawatts (MW) de los cuales 28.8 % está en centrales hidroeléctricas, el 6% en carboeléctricas, el 2.38% en geotermoeléctricas, el 54.02% en termoeléctricas que consumen hidrocarburos, 6.64% en la central dual, 2.13% en la nucleoelectrica y 0.01% en la central eoloeléctrica.

| Tipos de Planta | Capacidad instalada<br>megawatts | Generación<br>gigawatts/hora |
|-----------------|----------------------------------|------------------------------|
| Hidroeléctricas | 9,056                            | 26,637                       |
| Carboeléctricas | 2,250                            | 14,479                       |
| Geotérmicas     | 753                              | 5,669                        |
| Termoeléctricas | 16,697                           | 79,532                       |
| Plantas duales  | 2,100                            | 6,053                        |
| Nucleoelectrica | 1,3080                           | 10,500                       |
| Eoloeléctrica   | 2                                | 6                            |

### CAPACIDAD PRODUCIDA TOTAL



La oferta de energía eléctrica y de combustibles industriales no siempre se ha realizado en condiciones satisfactorias de calidad, oportunidad y a precios competitivos respecto de los internacionales.

- Centrales hidroeléctricas.

El mayor desarrollo se encuentra en la cuenca del río Grijalva, en el sureste del país, y está integrado por las centrales, Angostura, Chicoasén, Malpaso, Peñitas. La capacidad total del conjunto es de 3,900 MW.

Otro desarrollo importante es la cuenca del río Balsas, localizado al sur del país, las centrales que integran a este conjunto son: Caracol, Infiernillo y La Villita, con un total de 1,895 MW. En Nayarit se encuentra Aguamilpa con 960 MW, Huites con 211MW y Zimapán con 146 MW.

- **Centrales de generación a base de hidrocarburos**

La energía generada a partir de hidrocarburos proviene de centrales de diferentes capacidades y tecnologías. El combustóleo se emplea principalmente en unidades de carga base, que se encuentran localizadas fundamentalmente en los puertos o en la proximidad de refinerías. El gas se utiliza en las centrales ubicadas en las áreas metropolitanas del D.F. y Monterrey, así como para alimentar las unidades de ciclo combinado.

El diseño es utilizado en unidades que operan durante los períodos de carga pico y en las que abastecen la demanda en zonas aisladas. Entre las principales centrales de combustóleo se encuentran Manzanillo con 1,900 MW de capacidad y Adolfo López Mateos (Tuxpan) con 2,100 MW.

- **Centrales carboeléctricas**

El desarrollo carboeléctrico se encuentra localizado en el Estado de Coahuila y corresponde a las centrales de J.L. Portillo (Río Escondido) con 1,200 MW y Carbón II con 1,400 MW en operación.

- **Centrales Duales**

Una central carboeléctrica con flexibilidad para quemar combustóleo y/o carbón es la Presidente P. Elías Calles (Petacalco), localizada en el Estado de Guerrero, con 2,100 MW de capacidad.

- **Centrales geotermoeléctricas**

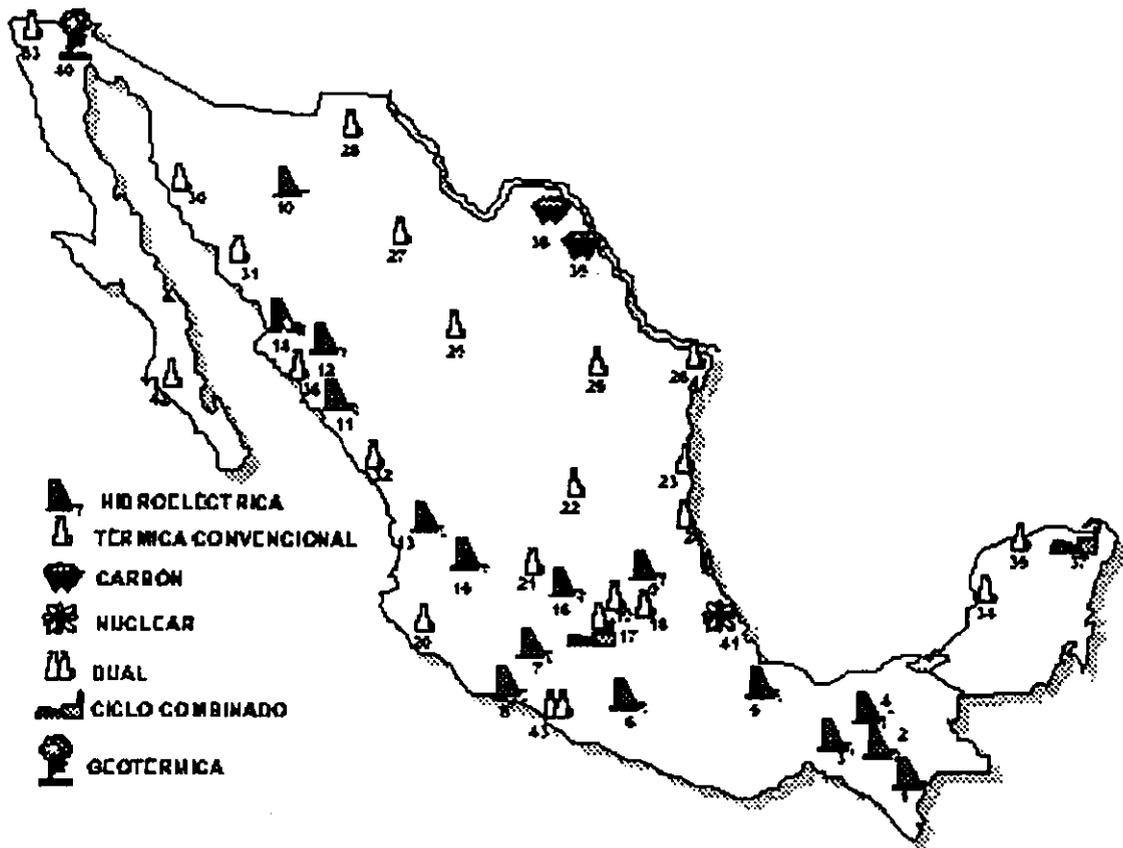
El mayor aprovechamiento de energía geotérmica se encuentra en la central de Cerro Prieto en las cercanías de Mexicali, B.C. con 620 MW de

capacidad, y el 16.7% restante se localiza en Los Azufres, Mich. y Los Humeros, Pue.

- Centrales nucleoeeléctricas

La central nucleoeeléctrica de Laguna Verde se localiza en el municipio de Alto Lucero, Ver. Las dos unidades con 654.5 MW cada una.

### PRINCIPALES CENTRALES DE GENERACIÓN



Justificación del Proyecto.  
Requerimientos de Energía Eléctrica.

---

Para la Península de Yucatán se deberá tomar las tasas de consumo por hora en el día de la demanda máxima, expuestas en el apéndice A, quedando los totales de las regiones que se verán beneficiadas por el paso del gasoducto ya que el diseño estará sujeta a esta demanda horaria.

**TASA DE CONSUMO POR HORA EN EL DÍA DE LA  
DEMANDA MÁXIMA (MMm<sup>3</sup>/d)**

**TOTAL**

| Hora | Año  |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |       |       |
|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|-------|
|      | 2000 | 2001 | 2002 | 2003 | 2004 | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | 2010 | 2011  | 2012  |
| 1    | 6.21 | 6.21 | 6.21 | 6.21 | 6.21 | 7.55 | 7.55 | 7.55 | 7.55 | 7.55 | 8.05 | 8.24  | 8.24  |
| 2    | 6.21 | 6.21 | 6.21 | 6.21 | 6.21 | 7.55 | 7.55 | 7.55 | 7.55 | 7.55 | 8.05 | 8.24  | 8.24  |
| 3    | 6.21 | 6.21 | 6.21 | 6.21 | 6.21 | 7.55 | 7.55 | 7.55 | 7.55 | 7.55 | 8.05 | 8.24  | 8.24  |
| 4    | 6.21 | 6.21 | 6.21 | 6.21 | 6.21 | 7.55 | 7.55 | 7.55 | 7.55 | 7.55 | 8.05 | 8.24  | 8.24  |
| 5    | 6.21 | 6.21 | 6.21 | 6.21 | 6.21 | 7.55 | 7.55 | 7.55 | 7.55 | 7.55 | 8.05 | 8.24  | 8.24  |
| 6    | 6.21 | 6.21 | 6.21 | 6.21 | 6.21 | 7.55 | 7.55 | 7.55 | 7.55 | 7.55 | 8.05 | 8.24  | 8.24  |
| 7    | 6.21 | 6.21 | 6.21 | 6.21 | 6.21 | 7.55 | 7.55 | 7.55 | 7.55 | 7.55 | 8.05 | 8.24  | 8.24  |
| 8    | 6.21 | 6.21 | 6.21 | 6.21 | 6.21 | 7.55 | 7.55 | 7.55 | 7.55 | 7.55 | 8.05 | 8.24  | 8.24  |
| 9    | 6.21 | 6.21 | 6.21 | 6.21 | 6.21 | 7.55 | 7.55 | 7.55 | 7.55 | 7.55 | 8.05 | 8.24  | 8.24  |
| 10   | 6.21 | 6.21 | 6.21 | 6.21 | 6.21 | 7.55 | 7.55 | 7.55 | 7.55 | 7.55 | 8.05 | 8.24  | 8.46  |
| 11   | 6.21 | 6.21 | 6.21 | 6.21 | 6.21 | 7.55 | 7.55 | 7.55 | 7.55 | 7.55 | 8.05 | 8.24  | 8.95  |
| 12   | 6.21 | 6.21 | 6.21 | 6.21 | 6.21 | 7.55 | 7.55 | 7.55 | 7.55 | 7.55 | 8.05 | 8.24  | 8.56  |
| 13   | 6.21 | 6.21 | 6.21 | 6.21 | 6.21 | 7.55 | 7.55 | 7.55 | 7.55 | 7.55 | 8.05 | 8.24  | 8.74  |
| 14   | 6.21 | 6.21 | 6.21 | 6.21 | 6.21 | 7.55 | 7.55 | 7.55 | 7.55 | 7.55 | 8.05 | 8.24  | 8.87  |
| 15   | 6.21 | 6.21 | 6.21 | 6.21 | 6.21 | 7.55 | 7.55 | 7.55 | 7.55 | 7.55 | 8.05 | 8.24  | 8.24  |
| 16   | 6.21 | 6.21 | 6.21 | 6.21 | 6.21 | 7.55 | 7.55 | 7.55 | 7.55 | 7.55 | 8.05 | 8.24  | 8.69  |
| 17   | 6.21 | 6.21 | 6.21 | 6.21 | 6.21 | 7.55 | 7.55 | 7.55 | 7.55 | 7.55 | 8.05 | 8.24  | 8.24  |
| 18   | 6.21 | 6.21 | 6.21 | 6.21 | 6.21 | 7.55 | 7.55 | 7.55 | 7.55 | 7.55 | 8.13 | 8.32  | 9.80  |
| 19   | 6.21 | 6.21 | 6.21 | 6.21 | 6.21 | 7.55 | 7.55 | 7.55 | 8.29 | 8.70 | 9.94 | 10.17 | 10.36 |
| 20   | 6.21 | 6.21 | 6.21 | 6.21 | 6.21 | 7.55 | 7.55 | 7.55 | 8.70 | 8.70 | 9.94 | 10.17 | 10.4  |
| 21   | 6.21 | 6.21 | 6.21 | 6.21 | 6.21 | 7.55 | 7.55 | 7.55 | 7.72 | 8.49 | 9.33 | 9.56  | 10.4  |
| 22   | 6.21 | 6.21 | 6.21 | 6.21 | 6.21 | 7.55 | 7.55 | 7.55 | 7.55 | 7.77 | 8.56 | 8.79  | 10.35 |
| 23   | 6.21 | 6.21 | 6.21 | 6.21 | 6.21 | 7.55 | 7.55 | 7.55 | 7.55 | 7.55 | 8.05 | 8.24  | 8.92  |
| 24   | 6.21 | 6.21 | 6.21 | 6.21 | 6.21 | 7.55 | 7.55 | 7.55 | 7.55 | 7.55 | 8.05 | 8.24  | 8.24  |
|      | 6.21 | 6.21 | 6.21 | 6.21 | 6.21 | 7.55 | 7.55 | 7.55 | 7.64 | 7.70 | 8.29 | 8.49  | 8.81  |

Justificación del Proyecto.  
Requerimientos de Energía Eléctrica.

PROMEDIO MENSUAL DE CONSUMO DE GAS DEL SISTEMA TOTAL (MM  
m<sup>3</sup>/D)

| Año  | Mes   |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       | Prom<br>anual |
|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|---------------|
|      | Ene   | Feb   | Mar   | Abr   | May   | Jun   | Jul   | Ago   | Sep   | Oct   | Nov   | Dic   |               |
| 2000 | 2.991 | 2.772 | 3.083 | 4.049 | 4.045 | 4.134 | 4.146 | 4.407 | 4.408 | 5.654 | 5.401 | 4.782 | 4.073         |
| 2001 | 4.904 | 5.235 | 5.537 | 4.782 | 5.654 | 5.655 | 5.654 | 5.654 | 5.655 | 5.400 | 5.655 | 4.810 | 5.383         |
| 2002 | 4.299 | 5.235 | 5.283 | 4.789 | 5.654 | 5.655 | 5.654 | 5.654 | 5.655 | 5.400 | 5.655 | 4.836 | 5.314         |
| 2003 | 4.350 | 5.235 | 5.283 | 4.822 | 5.654 | 5.655 | 5.654 | 5.654 | 5.655 | 5.391 | 5.401 | 4.756 | 5.293         |
| 2004 | 4.410 | 4.884 | 5.289 | 4.836 | 5.680 | 5.689 | 5.699 | 5.662 | 5.684 | 5.472 | 5.655 | 4.918 | 5.323         |
| 2005 | 5.581 | 6.509 | 6.557 | 6.082 | 6.928 | 6.930 | 6.928 | 6.928 | 6.930 | 6.674 | 6.809 | 6.322 | 6.598         |
| 2006 | 5.318 | 6.509 | 6.858 | 6.112 | 6.942 | 6.942 | 6.955 | 6.928 | 6.937 | 6.699 | 6.989 | 5.363 | 6.541         |
| 2007 | 5.334 | 6.536 | 6.859 | 6.123 | 6.980 | 7.001 | 7.011 | 6.967 | 6.995 | 7.004 | 6.618 | 5.391 | 6.568         |
| 2008 | 5.334 | 6.163 | 6.630 | 6.191 | 6.983 | 7.014 | 7.011 | 7.011 | 6.722 | 7.060 | 6.924 | 5.537 | 6.548         |
| 2009 | 5.356 | 6.653 | 6.983 | 6.274 | 7.047 | 7.045 | 7.035 | 7.022 | 7.045 | 6.760 | 7.064 | 5.402 | 6.641         |
| 2010 | 5.451 | 6.697 | 7.174 | 6.598 | 7.239 | 7.235 | 7.243 | 7.299 | 7.194 | 6.931 | 7.079 | 5.688 | 6.819         |
| 2011 | 5.788 | 6.910 | 7.423 | 6.907 | 7.544 | 7.561 | 7.563 | 7.627 | 7.414 | 7.322 | 6.921 | 5.647 | 7.052         |
| 2012 | 6.076 | 6.574 | 7.503 | 7.292 | 7.937 | 7.917 | 7.931 | 8.005 | 7.755 | 7.458 | 7.439 | 5.968 | 7.321         |

## **2.2 SITUACIÓN DE LA PENÍNSULA DE YUCATÁN**

### *Campeche*

La extensión del estado de Campeche es de 56 798 km<sup>2</sup>, 2.9% del territorio nacional. Su población aproximada es de 640 000 habitantes, 0.7% del país (Censo 1995).

Cuenta con un relieve plano, ligeramente ondulado y con suave inclinación de sur a norte; el único accidente orográfico es la Sierra del Noroeste, formada por lomeríos con altitudes menores a los 300 m. Al este, por la disolución de las rocas calizas se crea el paisaje cárstico, caracterizado por corrientes subterráneas que forman chaltunes y cenotes.

En su hidrografía sobresale en el este y norte de la región de los Chenes, sólo corrientes y depósitos subterráneos, cenotes y aguadas; al suroeste, corrientes superficiales como los ríos San Pedro, Palizada, Chumpán y Candelaria, al centro el río Champotón.

### *Yucatán*

El Estado de Yucatán tiene una situación geográfica privilegiada, posee bosques tropicales, cenotes, cavernas, corrientes subterráneas, etc.

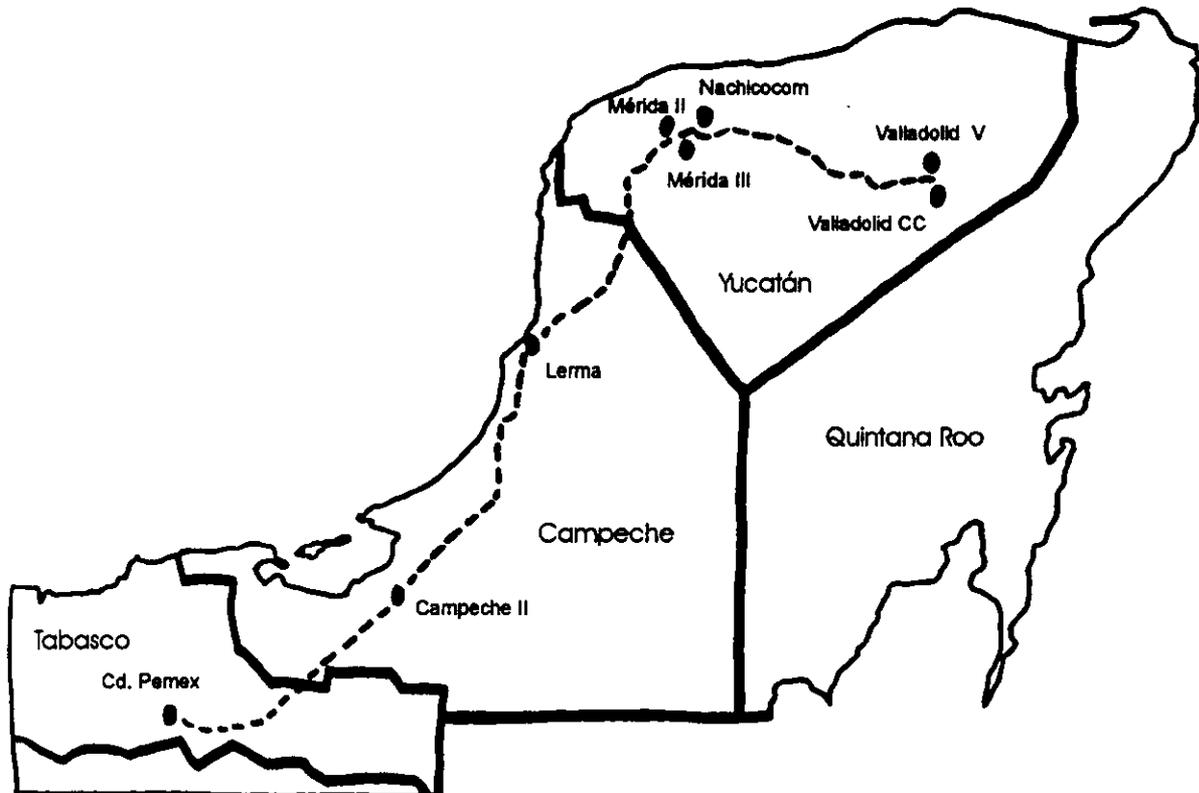
Su clima es cálido, aunque en realidad tiene dos tipos de clima, el cálido subhúmedo que abarca el 90% de su territorio y el cálido semiseco que corresponde a la franja costera en el norte del Estado.

Su extensión territorial es de 43,379 km<sup>2</sup>, su capital es la ciudad de Mérida. Cuenta con una población de 1'555,733 habitantes y 106 municipios.

La ruta comienza en la esquina sudoeste del Complejo Petroquímico Ciudad Pemex situado cerca de Ciudad Pemex, Tabasco, y se termina en las

Justificación del Proyecto.  
Situación de la Península de Yucatán.

Centrales Eléctricas de Valladolid, Yucatán, a una distancia aproximadamente de 693 kilómetros.



Durante 532 kilómetros, la ruta en general es paralela a la ruta de un gasoducto de 406.4 mm y 323.9 mm existente que fue construido por Pemex a comienzos de la década de 1980 entre Ciudad Pemex y Mérida.

El terreno a lo largo de la ruta difiere desde tierras bajas, sujetas a inundación periódica, a colinas ondeadas con bosques de arboles de varios tipos y tamaños. Las actividades agrícolas varían desde el pastoreo de ganado hasta el cultivo intenso de cosechas de consumo humano tales como arroz, maíz, sorgo y frutas cítricas, además de cosechas de fibra tal como sisal-cáñamo. Se estima que las actividades de cultivo reales ocurren en menos del 20% de la distancia de la ruta.

## **2.3 ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS DE CONSTRUCCIÓN.**

Para elegir entre las opciones, la más viable, debemos tomar en cuenta las diferentes formas en las que podemos generar energía para satisfacer a una región en particular.

Tomando en cuenta que el mayor porcentaje de generación es por la hidroeléctrica y por la termoeléctrica, analizaremos de cada sistema sus ventajas y desventajas.

### **HIDROELÉCTRICA**

#### **VENTAJAS**

- ⇒ Alto contenido nacional (Insumos)
- ⇒ Efecto multiplicador
- ⇒ Impacto social positivo por infraestructura
  - Carreteras
  - Centros de Salud
  - Escuelas
  - Comunicaciones
- ⇒ Control de avenidas
- ⇒ Uso de agua en riego
- ⇒ Acuacultura
- ⇒ Suministro de agua potable
- ⇒ Agricultura
- ⇒ Mejoramiento ecológico
- ⇒ Desarrollo regional
- ⇒ Operación sin combustible
- ⇒ No genera contaminación atmosférica
- ⇒ Vida útil prolongada

#### **DESVENTAJAS**

- ⇒ Alta inversión
- ⇒ Impacto ambiental negativo por afectaciones por embalse
- ⇒ Costo de generación elevado
- ⇒ Uso parcial para generación
- ⇒ Producción discontinua de energía
- ⇒ Crecimiento limitado
- ⇒ Generación dependiente del agua
- ⇒ Restricciones de localización
- ⇒ Costos adicionales para líneas de transmisión

- ⇒ Menor costo de operación y mantenimiento

## TERMOELÉCTRICA

### VENTAJAS

- ⇒ Menor inversión
- ⇒ Menor limitación por localización (cerca a centros de consumo)
- ⇒ Crecimiento Flexible
- ⇒ Menor costo de generación
- ⇒ Producción continua
- ⇒ Flexibilidad de conversión de combustible

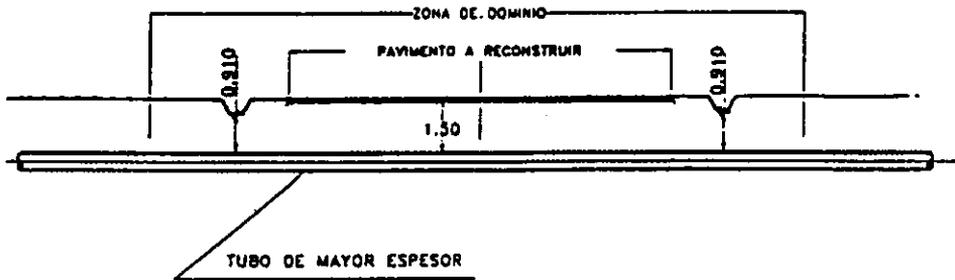
### DESVENTAJAS

- ⇒ Genera contaminación
- ⇒ Consumo de combustibles no renovables
- ⇒ Uso único para generación de energía
- ⇒ No provoca efecto multiplicador de la inversión

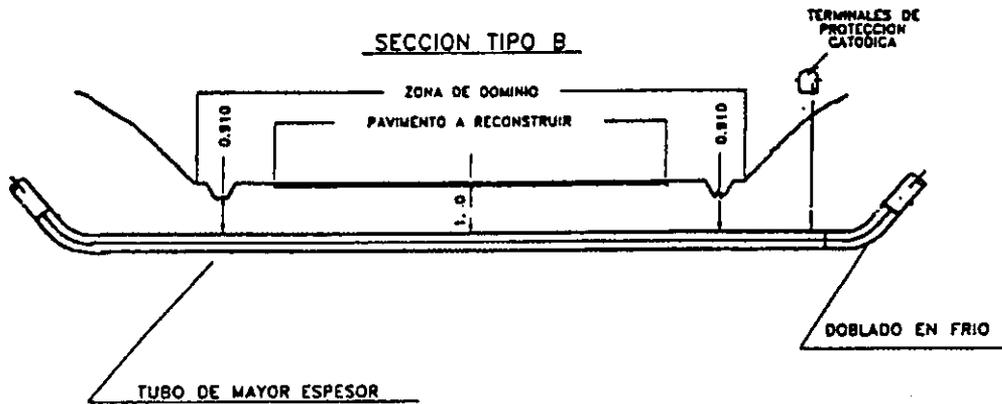
Un punto importante en el análisis es el geográfico ya que la Península no presenta ningún punto importante capaz de ser aprovechado hidráulicamente y el sitio más cercano sería el río Grijalva en Chiapas, donde la línea de transmisión sería una inversión fuerte y no muy viable.

En cuestiones de construcción tenemos que a lo largo de la ruta hay varios caminos, carreteras, líneas de ferrocarril, arroyos y ríos. Se propone que el cruce de estos sea de acuerdo a los métodos normales generalmente aplicados para instalar tuberías, se propone que los caminos secundarios y de superficie de grava sean cortados abiertos y restaurados a su condición original con rellenos compactados.

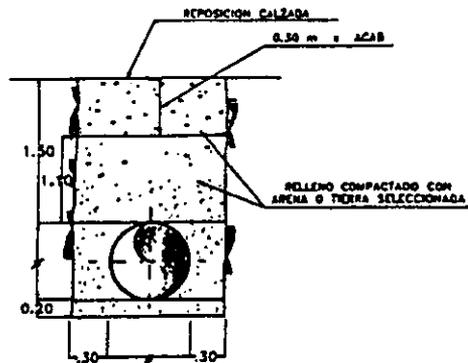
SECCION TIPO A



SECCION TIPO B

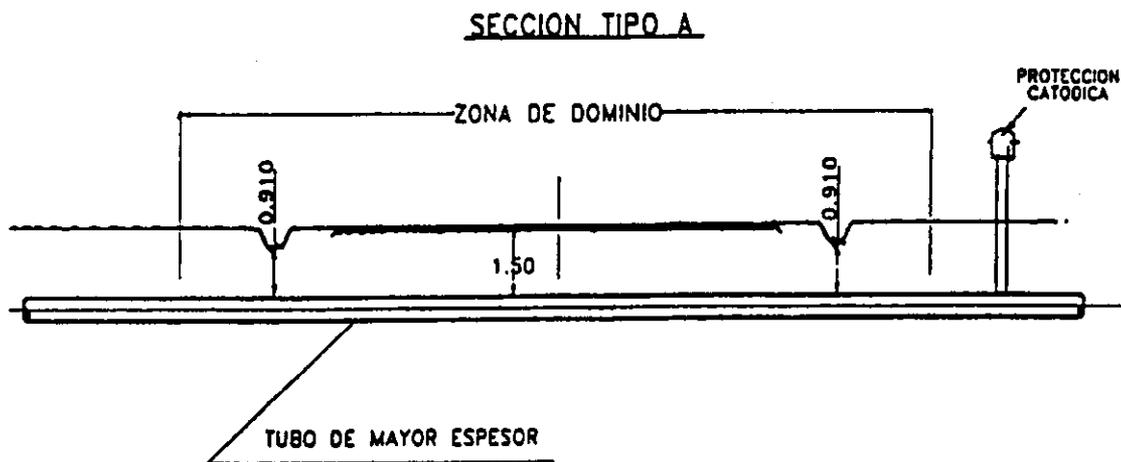


SECCION



CRUCE TIPO CON CARRETERA CON TUBO A CIELO ABIERTO

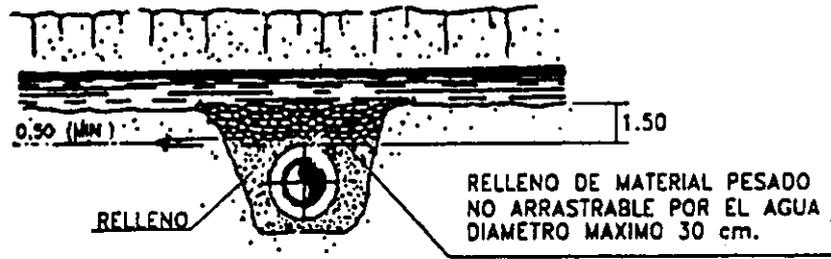
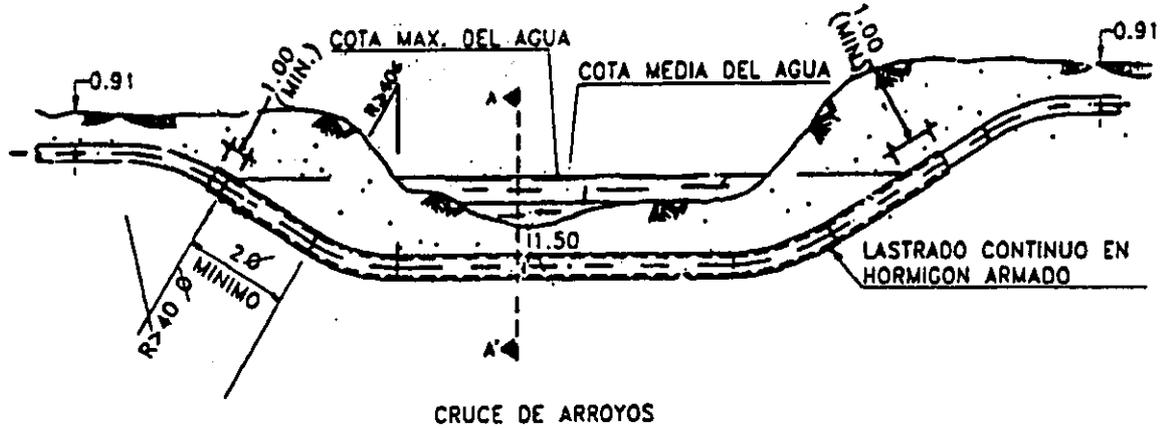
Para los caminos y carreteras donde no esté permitido el corte abierto, se utilizará la técnica de perforación direccional que permite que el tubo portador sea halado a lo largo de todo el agujero barrenado a medida que se retira el tubo piloto de perforación.



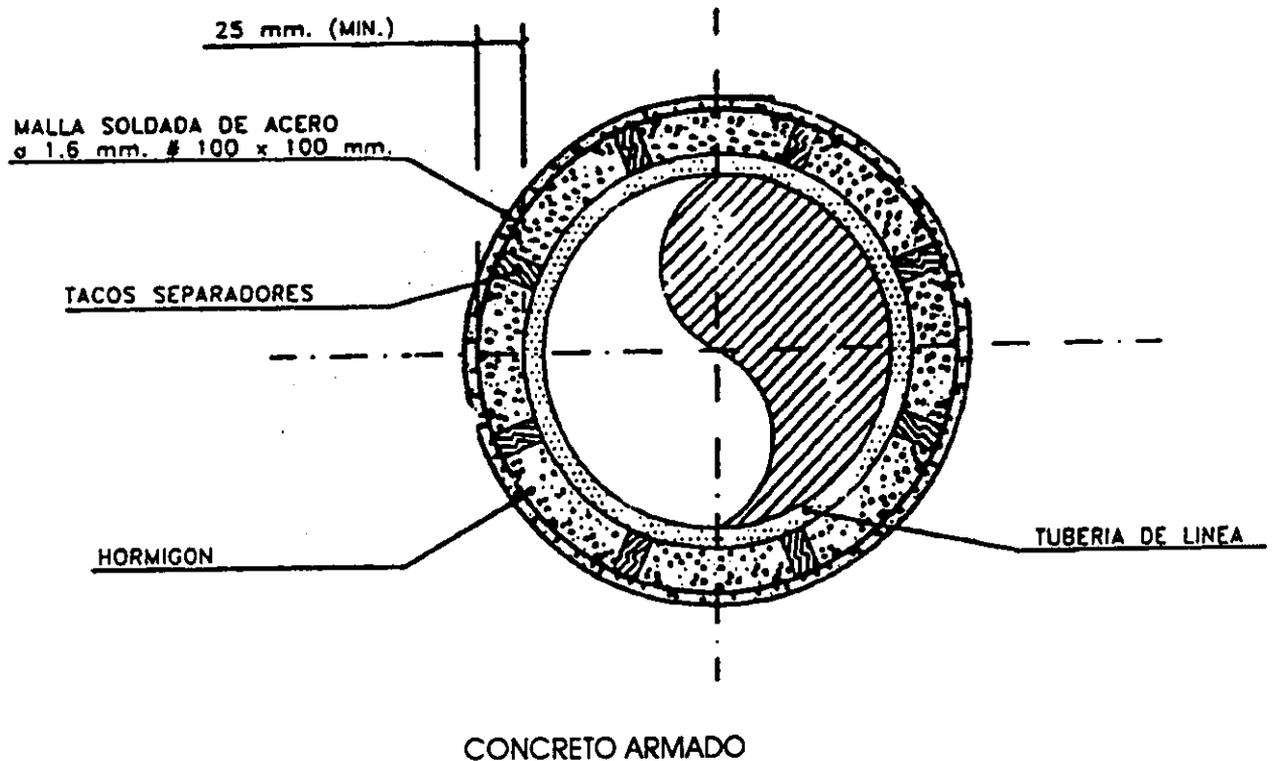
#### CRUCE TIPO CARRETERA CON PERFORACIÓN

Pueden emplearse técnicas de construcción de tuberías a campo travesía en la longitud de esta región, si el período de construcción coincide con las temporadas secas. En el caso que el nivel alto de agua freática no permita utilizar métodos convencionales, puede emplearse la técnica de tarima de empuje, no es inusual en terreno de este tipo.

Hay varios ríos medianos a pequeños que deben ser cruzados por la tubería, ninguno de los arroyos parece ser navegable por barcos comerciales y su proximidad a las aguas a nivel del mar y a bahías indica que el arrastre del lecho es leve, llegando a ser el método de cruce el cortar abierto el lecho del arroyo y tender una sarta de tubos semiflotantes a través de los arroyos, y luego quitar los dispositivos de flotación.



La presencia de agua superficial y/o agua freática alta en la superficie en ciertas secciones podría producir flotación de los tubos, aquellas áreas serán tratadas, con un revestimiento de concreto tal como se muestra en la siguiente figura:



Los cuidados en el manejo de todos los materiales deberá de proporcionarse al mantener en buenas condiciones todo el equipo de izar necesario, adecuado para el manejo de la tubería de conducción sin dañar la tubería, los extremos biselados y el revestimiento, ya sea que la tubería esté desnuda o revestida la misma no debe rodarse ni dejarla caer, ni permitir que choque con ningún objeto que pueda dañar el tubo o el revestimiento.

La tubería de conducción y otros materiales deben transportarse en vehículos, en una manera adecuada. Los apoyos para el manejo de la tubería desnuda o revestida deben ser bien acolchonados, en la tubería revestida, los apoyos en la plataforma del camión y la porción en voladizo deben estar de acuerdo con las recomendaciones de los fabricantes.

Los límites del derecho de vía se deben localizar y estaquear, antes de comenzar las actividades de construcción, también se localizará y estaqueará la línea de eje central de la zanja, a intervalos razonables, identificándose:

- Línea eje central de la zanja
- Lugar de cruces: de agua, caminos, ferrocarriles, carreteras, servicios públicos, etc.

Se deberá descubrir excavando a mano, todos los servicios públicos y estructuras que crucen o estén en las proximidades, la limpieza de la porción del derecho de vía que se necesite para completar el trabajo, sacando todos los árboles, maleza y otras obstrucciones.

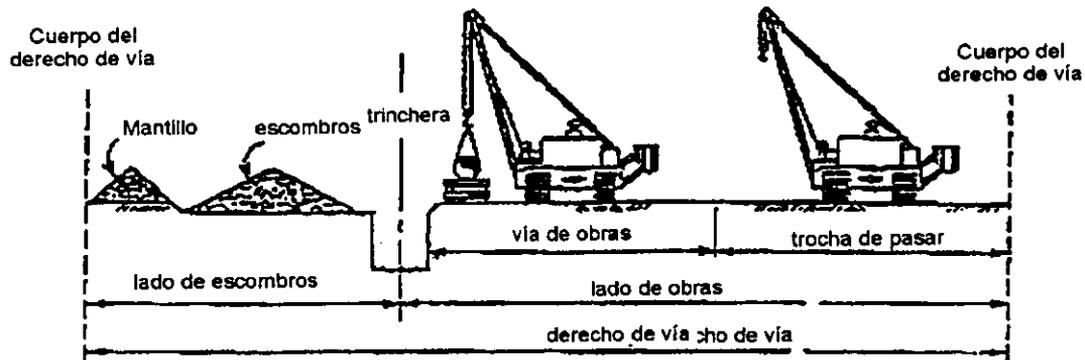
La vegetación debe sacarse de manera que no caiga en el área dentro del derecho de vía o en los límites del espacio de trabajo y alejada de los cursos de agua. Los escombros de la limpieza y de construcción que puedan bloquear el flujo, deberán quitarse y desecharse correctamente. Se deberá enrasar la porción de la línea de la zanja del derecho de vía a fin de permitir que el tubo se doble y se instale en suelo no disturbado, dentro de los radios mínimos de doblado.

Al tenderse la tubería en el derecho de vía, en preparación al doblado y soldado, de manera tal a impedir daños a la tubería y al revestimiento, el tubo se colocará directamente sobre los polines acolchonados o sobre apoyos para asegurarse de que se mantenga sin tocar la superficie del terreno.

La zanja debe excavarse usando una retroexcavadora o máquina zanjadora y explosivos, el fondo de la zanja debe estar en suelo no disturbado y debe ser firme, suave y formado para proporcionar al máximo apoyo al tubo, cuando se realice el zanjeo antes del doblado, el tubo debe doblarse para que encaje en la curva de nivel de la zanja terminada.

Una característica de la zanja es que será suficientemente ancha para permitir la colocación apropiada del relleno al fondo de la zanja, a ambos lados del tubo.

La zanja del tubo debe excavarse a lo largo de la alineación estaqueada, pero donde haya un cambio de dirección, se debe cortar la zanja para acomodar el radio mínimo especificado del tubo doblado, manteniéndose un espacio entre el doblado y las paredes de la zanja para conformar.



En las conexiones debe hacerse suficiente excavación extra de modo que las soldaduras y otros trabajos puedan realizarse satisfactoriamente alrededor del tubo estando ya en la zanja, la excavación en los servicios públicos existentes debe realizarse de manera que se impida cualquier daño a las instalaciones.

Cuando se establezca que no es posible la excavación convencional se proporcionará al personal, equipo y materiales necesarios para una voladura, procedimiento que seguirá los patrones de perforación, tipos de explosivos, cargas por agujero, tiempos de retardo, métodos y secuencias de detonación y largo del collar, contando así con una protección tanto para trabajadores como para el público cercano.

Cuando se presenten áreas donde el material del fondo de la zanja tenga el potencial de dañar el tubo o el revestimiento externo, se proporcionará el acolchonamiento del fondo por medio de la máquina de cribar o por transportación de arena (arcilla, limo, arena de cantera o material en polvo) en áreas de zanjas con roca, pero no sólo en el fondo se acolchonará sino también arriba y en los costados del tubo.

## **2.4 ESTUDIOS NECESARIOS**

El desarrollo del diseño, de planos y de especificaciones proporciona un medio seguro, confiable, eficiente y económico para la transportación de las cantidades de gas a los puntos de entrega. El sistema deberá suministrar suficiente flujo de gas y presión para cumplir con la capacidad de generación máxima de las centrales generadoras.

- El sistema debe incluir las instalaciones y equipo par la recepción, medición, control de presión y la distribución del gas, válvulas de bloqueo del gasoducto, estación de recepción, estaciones de entrega, estaciones de tacos de limpieza, equipos de protección catódica, equipo contra incendios, estaciones de compresores, talleres de mantenimiento, bodegas y un centro de control.

Se tomarán en cuenta los puntos críticos como:

- La protección al medio ambiente donde se debe construir y operar la tubería.
- Cooperación y coordinación estrecha entre actividades de ingeniería y de construcción.
- Inspeccionar en detalle la ruta para identificar y clasificar las condiciones del terreno y los posibles obstáculos (ciénegas, estuarios, cursos de agua, servicios existentes, etc.) y obtener datos geotécnicos y de resistividad.
- Dar el perfil de la ruta del gasoducto propuesto indicando cualquier cambio de dirección y usando un plan basado en el levantamiento topográfico del terreno, incluyendo datos geotécnicos básicos para ser usados en la evaluación de los métodos de construcción y requerimientos de control de flotación, y los datos de resistividad para evaluar la protección catódica temporal y el diseño del sistema permanente.
- Verificar el diseño incluyendo el proceso hidráulico, alivio, purga, venteo y tamaño de equipo.
- Identificar sitios donde se requiera obtener permisos para cruces de agua, caminos ferrocarriles, tuberías y servicios públicos.

### 2.4.1 TOPOGRÁFICOS.

Los levantamientos topográficos necesarios deberán comprender:

- Localización, verificación y referencia permanente de todas las referencias topográficas.
- Determinar la proximidad a la población para la clasificación de la tubería.
- Establecer los límites de construcción del derecho de vía.
- Establecer la línea de la zanja.
- Señalar las características técnicas.

Los límites del derecho de vía se deben localizar y estaquear, incluyendo cualquier área de espacio de trabajo temporal, antes de cualquier excavación se deberán tener los lugares precisos de todos los servicios públicos subterráneos y estructuras que crucen a la tubería propuesta.

El área de proyecto en su mayor parte está compuesta por colinas bajas onduladas con pendientes empinadas ocasionales. El suelo de los primeros 220 kilómetros contiene básicamente arcilla roja combinada con arena fina de varias formaciones geológicas.

Desde el km 220 hasta Valladolid, el material dominante es de calizas de diferentes tipos y durezas, y pertenecientes igualmente a diferentes formaciones de las épocas geológicas.

| CADENADA       | CARACTERÍSTICAS LITOLÓGICAS Y TOPOGRÁFICAS   |
|----------------|--|
| 0+000 - 78+800 | Mayormente compuestas por colinas bajas con colinas empinadas ocasionales, conteniendo básicamente arcilla roja combinada con arena y arena fina a base de cal; hay varias áreas sujetas a inundación periódica y algunas lagunas y lagos: Lagunas "Del Bayo" y "Trinidad". También hay un río y varios arroyos. |

Justificación del Proyecto.  
Estudios Necesarios. Topográficos.

| CADENADA          | CARACTERÍSTICAS LITOLÓGICAS Y TOPOGRÁFICAS  |
|-------------------|---|
| 78+800 - 89+400   | Áreas sujetas a inundación y algunas tierras pantanosas compuestas mayormente por arcilla y algunas arenas y depósitos de grava de río cerca del Río Usumacinta. El nivel de agua freática dentro del suelo es muy alta adyacente al río, y la arcilla es de color amarillo.                                  |
| 89+400 - 197+600  | Terreno plano sujeto a inundaciones, con arcilla amarilla.  |
| 197+600 - 201+100 | Colinas suaves con arena de cal y algo de caliche (calcita)   |
| 201+100 - 206+600 | Terreno plano con arcilla amarilla.   |
| 206+600 - 219+800 | Terreno plano con algunas capas de arcilla mezclada con caliche (calcita).  |
| 219+800 - 257+900 | Colinas suaves alternadas con terreno plano sujeto a inundaciones, formado con arenas de calcita en las colinas y mezclado con arcilla en las áreas planas.   |
| 257+900 - 274+300 | Terreno plano sujeto a inundaciones, con lodos de calcita.  |
| 274+300 - 325+000 | Terreno plano con colinas suaves. En el terreno plano la capa de vegetación es de aproximadamente 20 cm y es más baja en las colinas; en ambos casos hay una capa de calcita marrón subyacente de 1 a 0.5 m ocasionalmente mezclada con arcilla. No hay problemas con el nivel de agua freática en esta zona. |
| 325+000 - 339+300 | Terreno plano con colinas pequeñas ocasionales con una capa orgánica de 10 a 20 cm, una capa de arcilla de 50 a 80 cm y arena cementada con calcita. El nivel de aguas freática es muy alto; el agua es salobre.  |
| 339+300 - 367+600 | Colinas suaves empinadas, con las áreas bajas llenas con una mezcla de arcilla; hay calcita presente en un intervalo de 0.5 a 1.0 m y arena cementada con caliche   |
| 367+600 - 371+000 | Terreno plano sujeto a inundaciones con una capa de vegetación de 10 a 20 cm y arcilla de alta plasticidad, con problemas de nivel de agua freática salobre.  |
| 371+000 - 437+300 | Colinas suaves y medianas alternadas con terreno plano. Básicamente compuestas por una mezcla de calcita con arena y caliza.  |
| 437+300 - 473+800 | Terreno plano con capas de suelo orgánico y de arcilla roja dentro de 20 a 30 cm y una capa de material de calcita de 0.5 a 1.0 m con arena cementada con caliche; no hay problemas con el nivel de agua freática.  |

Justificación del Proyecto.  
Estudios Necesarios. Topográficos.

| CADENADA                     | CARACTERÍSTICAS LITOLÓGICAS Y TOPOGRÁFICAS  |
|------------------------------|---|
| 473+800 - 480+100            | Colinas suaves y empinadas con la presencia de calcita dentro de un intervalo de 0.5 a 1.0 m y arena cementada con caliche.   |
| 480+100 - 531+500            | Terreno plano con una capa de material de calcita de 0.5 a 1.0 m con arena cementada con caliche.   |
| 531+500 - 606+500            | Terreno plano con una capa de suelo orgánico de 10 a 15 cm y una capa de material de calcita de 0.5 a 1.0 m con arena cementada con calcita; no se presentan problemas con el nivel de agua freática. |
| 606+500 - 693+100            | Colinas suaves con una capa orgánica de 10 cm y una capa de material de calcita de 0.5 a 1.0 m con arena cementada con carbonatos de calcio.  |
| <b>DERIVACIÓN NACHICOCOM</b> |   |
| 0+000 - 17+060               | Área plana compuesta por calcita y arena cementada con carbonatos de calcio.  |
| <b>DERIVACIÓN LERMA</b>      |   |
| 0+000 - 0+450                | Colinas medianas con calcita y caliza.  |
| 0+450 - 1+940                | Área plana con ondulaciones moderadas compuestas por calcita y arena cementada con carbonatos de calcio.  |

Se podrán tener datos adicionales como: límites políticos, límites de propiedad, codos verticales, cadena floja, datos geotécticos, espesor del recubrimiento, se tomará también en cuenta los detalles del derecho de vía, mediciones de erosión del suelo, cruces de caminos, de agua y tuberías, detalles de zanjas, de válvulas, caminos de acceso permanente.

RUTA DEL GASODUCTO  
RUTA PEMEX-MERIDA-VALLADOLID

| NOMBRE                         | UBICACIÓN                       | KILOMETRAJE        | OBSERVACIONES             |
|--------------------------------|---------------------------------|--------------------|---------------------------|
| Dep. de autos usados Pemex     | Cd Pemex Tab.                   | 0+000 al 0+200     | Corralón Prop. Fed.       |
| Camino Aquiles Serdán-El Congo | Cd. Pemex Mpio. Macuspana, Tab. | 7+080 al 7+100     | Pdad. Municipal o Estatal |
| Río tepetitlán                 | Cd Pemex Mpio. Macuspana, Tab.  | 18+900 al 19+000   | CNA zona federal          |
| Camino Palenque-Tazaja         | Mpio. Catazaja. Chis.           | 58+700 al 58+730   | Pdad. Municipal o Estatal |
| Río Usumacinta                 | Mpio. Catazaja. Chis.           | 89+450 al 89+550   | CNA zona federal          |
| Puente Río Chumpán             | Mpio. Escárcega .Camp.          | 140+000            | CNA zona federal          |
| Río Candelaria                 | Mpio. Escárcega .Camp.          | 163+200            | CNA zona federal          |
| Río Monterrey                  | Mpio. Escárcega .Camp.          | 171+200            | CNA zona federal          |
| Río El Mango                   | Mpio. Escárcega .Camp.          | 177+600            | CNA zona federal          |
| Carretera a Pixtum             | Mpio. Champotón, Camp.          | 281+000            | Pdad. Municipal o Estatal |
| Terrenos del Municipio         | Mpio. Champotón, Camp.          | 303+500 al 305+500 | Prop.del Municipio        |
| Río Champotón                  | Mpio. Champotón, Camp.          | 308+000 al 308+100 | CNA zona federal          |
| Carretera a Moquel             | Mpio. Champotón, Camp.          | 309+750            | Pdad. Municipal o Estatal |
| Camino a Ximichac              | Mpio. Champotón, Camp.          | 323+950 al 324+100 | Pdad. Municipal o Estatal |

Justificación del Proyecto.  
Estudios Necesarios. Topográficos.

| NOMBRE                        | UBICACIÓN              | KILOMETRAJE        | OBSERVACIONES             |
|-------------------------------|------------------------|--------------------|---------------------------|
| Río Champotón                 | Mpio. Champotón, Camp. | 328+500            | CNA zona federal          |
| Zona Industrial Gob. del Edo. | Mpio. Campeche, Camp.  | 358+000 al 360+100 | Propiedad Estatal         |
| Camino a China                | Mpio. Campeche, Camp.  | 360+100            | Pdad. Municipal o Estatal |
| Camino a China                | Mpio. Campeche, Camp.  | 370+500            | Pdad. Municipal o Estatal |
| Línea de ferrocarril          | Mpio. Campeche, Camp.  | 370+500            | Ferronales                |
| Camino a Hopelchen            | Mpio. Campeche, Camp.  | 379+800            | Pdad. Municipal o Estatal |
| Tiradero de basura            | Mpio. Campeche, Camp.  | 383+300 al 383+900 | Prop. Municipal           |
| Carretera a Betaña            | Mpio. Campeche, Camp.  | 393+000            | Pdad. Municipal o Estatal |
| Camino de terracería          | Mpio. Campeche, Camp.  | 397+100            | Pdad. Municipal o Estatal |
| Ruinas arqueológicas          | Mpio. Tenabo, Camp.    | 398+000            | Zona Arqueológica         |
| Camino a Xomozón              | Mpio. Tenabo, Camp.    | 403+700            | Pdad. Municipal o Estatal |
| Camino a Xomozón              | Mpio. Tenabo, Camp.    | 407+100            | Pdad. Municipal o Estatal |
| Camino a Tenabo               | Mpio. Tenabo, Camp.    | 413+000            | Pdad. Municipal o Estatal |
| Camino de terracerías         | Mpio. Tenabo, Camp.    | 414+200            | Pdad. Municipal o Estatal |

Justificación del Proyecto.  
Estudios Necesarios. Topográficos.

| NOMBRE                      | UBICACIÓN                | KILOMETRAJE        | OBSERVACIONES             |
|-----------------------------|--------------------------|--------------------|---------------------------|
| Camino a Pomuch             | Mpio. Mecelchacán, Camp. | 428+000            | Pdad. Municipal o Estatal |
| Camino a Bacabchén          | Mpio. Kalkini, Camp.     | 448+300            | Pdad. Municipal o Estatal |
| Camino a Sombrilla          | Mpio. Halacho, Yuc.      | 470+000            | Pdad. Municipal o Estatal |
| Camino a Muna               | Mpio. Maxcanu, Yuc.      | 483+000            | Pdad. Municipal o Estatal |
| Camino de ferrocarril       | Mpio. Maxcanu, Yuc.      | 483+000            | Ferronales                |
| Carretera a Mexcanu         | Mpio. Maxcanu, Yuc.      | 488+000            | Pdad. Municipal o Estatal |
| Unidad Porcícola Cholul     | Mpio. Copamac, Yuc.      | 499+000 al 501+300 | Prop. Estatal             |
| Carretera a Umán            | Mpio. Umán, Yuc.         | 520+000            | Pdad. Municipal o Estatal |
| Carretera a Hunxetamán      | Mpio. Umán, Yuc.         | 526+200            | Pdad. Municipal o Estatal |
| Línea de ferrocarril        | Mpio. Mérida, Yuc.       | 529+516            | Ferronales                |
| Carretera Mérida-Campeche   | Mpio. Mérida, Yuc.       | 529+546            | Pdad. Municipal o Estatal |
| Carretera Umán Tizimúl      | Mpio. Mérida, Yuc.       | 532+616            | Pdad. Municipal o Estatal |
| Línea de transmisión 115 KV | Mpio. Mérida, Yuc.       | 533+516            | Prop. CFE                 |

Justificación del Proyecto.  
Estudios Necesarios. Topográficos.

| NOMBRE  | UBICACIÓN           | KILOMETRAJE | OBSERVACIONES             |
|---|---------------------|-------------|---------------------------|
| Línea de transmisión 115 KV                     | Mpio. Mérida, Yuc.  | 533+666     | Prop. CFE                 |
| Carretera Dzununcam-Sta-Cruz Palomeque          | Mpio. Mérida, Yuc.  | 538+966     | Pdad. Municipal o Estatal |
| Carretera estatal Xmatduil-Periférico           | Mpio. Mérida, Yuc.  | 541+460     | Pdad. Municipal o Estatal |
| Carretera estatal San Pedro Chinay - Periférico | Mpio. Canacín, Yuc. | 544+666     | Pdad. Municipal o Estatal |
| Línea de ferrocarril                            | Mpio. Canacín, Yuc. | 552+116     | Ferronales                |
| Línea de transmisión 115 KV                     | Mpio. Canacín, Yuc. | 551+966     | Prop. CFE                 |
| Carretera Sn. Antonio Tehuitz - Periférico      | Mpio. Canacín, Yuc. | 552+666     | Pdad. Municipal o Estatal |
| Línea de transmisión 115 KV                     | Mpio. Canacín, Yuc. | 557+768     | Prop. CFE                 |
| Carretera libre Mérida-Valladolid               | Mpio. Canacín, Yuc. | 558+016     | Pdad. Municipal o Estatal |
| Carretera Mérida-Valladolid a Sahe              | Mpio. Canacín, Yuc. | 559+166     | Pdad. Municipal o Estatal |
| Carretera Seye-Tixkokob                         | Mpio. Seye, Yuc.    | 568+266     | Pdad. Municipal o Estatal |
| Camino Tahmek-Ekmul                             | Mpio. Tahmek, Yuc.  | 579+716     | Pdad. Municipal o Estatal |
| Camino Hoctum-Cacalchén                         | Mpio. Hoctum, Yuc.  | 586+900     | Pdad. Municipal o Estatal |

Justificación del Proyecto.  
Estudios Necesarios. Topográficos.

---

| NOMBRE                                  | UBICACIÓN            | KILOMETRAJE | OBSERVACIONES             |
|---|----------------------|-------------|---------------------------|
| Camino Hoctum-Kimbila                   | Mpio. Hoctum, Yuc.   | 587+750     | Pdad. Municipal o Estatal |
| Camino Hoctum - San José Poniente       | Mpio. Hoctum, Yuc.   | 590+100     | Pdad. Municipal o Estatal |
| Camino Kantunil-Xacanaba                | Mpio. Kantunil, Yuc. | 609+960     | Pdad. Municipal o Estatal |
| Camino Mpal. Piste-Xocempich            | Mpio. Piste, Yuc.    | 654+866     | Pdad. Municipal o Estatal |
| Camino Mpal. San Fco. el Grande - Uayma | Mpio. Tinum, Yuc.    | 667+366     | Pdad. Municipal o Estatal |
| Camino Mpal. Kava-Tinum                 | Mpio. Uayma, Yuc.    | 673+716     | Pdad. Municipal o Estatal |

## **2.4.2 MECÁNICA DE SUELOS.**

Se realiza un estudio geotécnico a lo largo del gasoducto, consistente en explorar el recorrido a lo largo del trazo, en la excavación de 75 pozos a cielo abierto (PCA) y de 180 perforaciones con posteadora manual de 10 cm de diámetro, trabajando a una profundidad máxima de 2 m.

Con estos sondeos tendremos información sobre los trabajos de campo y de laboratorio realizados para las excavaciones.

Desde un punto de vista geológico tenemos que el gasoducto se desarrollará en las provincias fisiográficas denominadas: la Llanura del Golfo y la Plataforma caliza de la Península de Yucatán. Esta será dividida en cinco zonas de acuerdo al suelo encontrado.

### **A) Zona de ríos (del cademaniento 0+000 al 216+229).**

Abarca de Cd Pemex hasta el poblado de 18 de Marzo. Este tramo está enclavado en la subprovincia fisiográfica de las Llanuras y pantanos de Tabasco y atravesará los siguientes ríos:

- Tepititán
- Puxcatán
- Chumpán
- Grijalva
- Cancelaria
- Palizada

Se encuentra formado por lomas de suave pendiente, valles bajos y planicies de suelos aluviales y residuales. La máxima profundidad explorada es de 2 m. Algunos valles y planicies bajos se llegan a inundar temporalmente en la época de lluvias y dos lo están de manera permanente.

Las zonas inundables que se tienen son debido a las áreas planas y horizontales y sus capas superficiales de suelo son impermeables de manera que impiden la filtración del agua en la temporada de lluvias, algunas se mantienen inundadas para cultivar arroz.

B) Del Poblado 18 de Marzo a la Ciudad de Campeche, Camp. (del cademaniento 216+229 al 369+415).

Formada por lomas de suave pendiente, valles y algunos cerros aislados. Este tramo forma parte de la plataforma caliza de la Península de Yucatán. El subsuelo está constituido por una capa superficial, que tiene un espesor variable de 0.3 m a cuando menos 2m. (siendo esta la máxima profundidad de exploración), de suelo predominantemente residual, excepto en algunos valles en los que es de naturaleza aluvial. Bajo esta capa se tenía en alrededor la mitad de los sondeos roca caliza antes de alcanzar los 2 m de profundidad.

C) Campeche a la Ciudad de Mérida, Yuc. (del cademaniento 369+415 al 530+295).

Lo constituyen los lomeríos de pendiente suave a media, planicies y serranías. El subsuelo está formado por una capa superficial de espesor variable de 0.3 m a cuando menos 2m de suelo residual; enseguida se tiene en la gran mayoría de los sondeos, roca caliza con diferentes grados de intemperismo y dureza. Se observa que el espesor del suelo residual disminuye al acercarse a la Ciudad de Mérida y la calidad de la roca aumenta.

D) De Mérida a Valladolid, Yuc. (del cademaniento 0+000 en C.C.C. Valladolid al 160+031 entroncamiento con el gasoducto de Cd Pemex a Mérida).

Está formado por lomas de suave pendiente. En general el subsuelo está constituido por una capa superficial de suelo de 0.4 m de espesor en promedio, en algunos casos el espesor de suelo es nulo, se detecta también roca caliza con diferentes grados de intemperismo y dureza.

E) Ramal a C.C.C. Nachicom

El relieve de esta zona es semiplano y el subsuelo está formado de manera general por una reducida capa de suelo de 30 cm de espesor en promedio y la parte inferior hasta los 2 m se encuentra roca caliza semicompactada.

Justificación del Proyecto.  
Estudios Necesarios. Mecánica de Suelos.

Los trabajos de campo consistieron en la excavación y muestreo de pozos a cielo abierto y de perforaciones con posteadora de 10 cm de diámetro, a una profundidad de 2 m o hasta alcanzar la roca o el nivel de aguas freáticas.

Los PCA se excavaron a cada 10 km en promedio y las perforaciones con posteadora se ubicaron entre los PCA a manera de tener una separación entre sondeos de 2 a 3 km.

En el tramo de Mérida a Valladolid la distancia entre sondeos se amplió a 5 km debido a que se tiene uniformidad en el subsuelo en este tramo.

Cada muestra de suelo se le somete a las siguientes pruebas:

- Clasificación y contenido de agua
- Límites líquido y plástico
- Porcentaje de finos (menor malla No.200)
- Pruebas de compactación Proctor a los suelos finos y Porter a los granulares.

TABLA DE PROPIEDADES INDICE Y DE COMPACTACIÓN DE LAS  
MUESTRAS INTEGRALES ENSAYADAS

| NO DE PCA | Prof. m   | SUCS | Wn % | DESCRIPCIÓN  | LL %  | LP % | IP % | Wopt % | $\rho_{DMC}$ N/m <sup>3</sup> | % de Finos |
|-----------|-----------|------|------|--|-------|------|------|--------|-------------------------------|------------|
| PCA 1     | 0.2 - 2.0 | CH   | 31.8 | Arcilla café con gravillas y arena                         | 75.9  | 28.6 | 47.3 |        |                               |            |
| PCA 8     | 0.2 - 2.0 | CL   | 23.4 | Arcilla arenosa café                                       | 39.4  | 14   | 25.4 | 20.7   | 17.97                         |            |
| PCA 9     | 0.2 - 2.0 | SM   | 13   | Arena fina con poco limo                                   |       |      |      | 12.5   | 17.99                         | 25.9       |
| PCA 10    | 0.2 - 2.0 | CH   | 30.6 | Arcilla café   | 70.4  | 19.2 | 51.2 | 24.6   | 15.4                          |            |
| PCA 11    | 0.2 - 2.0 | CH   | 33.9 | Arcilla gris   | 118   | 22.6 | 95.4 |        |                               |            |
| PCA 13    | 0.4 - 2.0 | CH   | 21.4 | Arcilla gris blanquecina                                   | 57.8  | 15.6 | 42.2 |        |                               |            |
| PCA 14    | 0.2 - 2.0 | CL   | 18.9 | Arcilla gris blanquecina                                   | 47.1  | 12.1 | 35   |        |                               |            |
| PCA 15    | 0.2 - 2.0 | CH   | 20.9 | Arcilla gris verdosa                                       | 86.4  | 20.2 | 66.2 | 23.7   | 15.9                          |            |
| PCA 18    | 0.2 - 2.0 | CH   | 40   | Arcilla con carbonato de calcio                            | 113.3 | 27.7 | 85.6 |        |                               |            |
| PCA 20    | 0.8 - 2.0 | CH   | 37.1 | Arcilla gris blanquecina con grumos de carbonato de calcio | 92.8  | 25.2 | 67.6 |        |                               |            |
| PCA 25    | 0.2 - 2.0 |      |      | Arcilla café grisácea con grumos de carbonato de calcio    | 67.9  | 25   | 42.9 | 27.9   | 15.01                         | 84.5       |
| PCA 27    | 0.5 - 2.0 | CH   | 28.1 | Grumos deleznable de caliza arcillosa gris                 | 75.8  | 20.2 | 55.6 | 19.6   | 16.7                          |            |
| PCA 30    | 0.1 - 2.0 | CL   | 17.5 | Grava limosa deleznable gris blanquecina                   | 48.5  | 14.2 | 32.3 |        |                               |            |
| PCA 31    | 0.1 - 2.0 | CL   | 24.5 | Limo gris blanquecino con grumos                           | 36.7  | 18.7 | 18   | 216    | 16.1                          |            |
| PCA 34    | 0.1 - 2.0 | CH   | 31.6 | Arcilla café con gravas medias                             | 119.8 | 31   | 88.8 | 35.6   | 13.2                          | 90         |
| PCA 72    |           |      |      | Arcilla limosa gris con gravas deleznales de caliza        |       |      |      | 38     | 12.6                          |            |

Justificación del Proyecto.  
Estudios Necesarios. Mecánica de Suelos.

SIMBOLOGÍA

Wn = contenido natural de agua  
 LL, LP = contenido de agua en el límite líquido y plástico  
 Wopt = contenido de agua óptimo en %  
 (Yd)max = peso volumétrico seco máximo

TABLA DE RESUMEN DE LOS PORCENTAJES DE MATERIAL A EXCAVAR A LOS LARGO DEL  
GASODUCTO. (%)

| KILOMETRAJE             | I  | II | IIA | III |
|-------------------------|----|----|-----|-----|
| Cd. Pemex-Mérida        |    |    |     |     |
| A) Zona de ríos         |    |    |     |     |
| 0+000 - 48+349          | 65 | 35 | 0   | 0   |
| 48+349 - 101+692        | 55 | 45 | 0   | 0   |
| 101+692 - 151+716       | 30 | 70 | 0   | 0   |
| 151+716 - 199+046       | 50 | 46 | 4   | 0   |
| 199+046 - 216+229       | 22 | 76 | 2   | 0   |
| B) 18 de Marzo-Campeche |    |    |     |     |
| 216+229 - 250+379       | 27 | 60 | 13  | 0   |
| 250+379 - 300+526       | 15 | 60 | 20  | 5   |
| 300+526 - 350+740       | 10 | 52 | 28  | 10  |
| 350+740 - 367+325       | 25 | 51 | 8   | 16  |
| C) Campeche a Mérida    |    |    |     |     |
| 367+325 - 399+520       | 11 | 35 | 35  | 19  |
| 399+520 - 451+500       | 11 | 39 | 36  | 14  |
| 451+500 - 500+535       | 6  | 24 | 31  | 39  |
| D) Mérida a Valladolid  |    |    |     |     |
| 160+031 - 99+572        | 2  | 12 | 14  | 72  |
| 99+572 - 48+052         | 5  | 12 | 38  | 45  |
| 48+052 - CCC Valladolid | 5  | 9  | 10  | 76  |
| E) Ramal a Nachi Cocom  | 0  | 15 | 15  | 70  |

| TIPO DE MATERIAL | HERRAMIENTA UTILIZADA   |
|------------------|---|
| I                | Material excavable con pala   |
| II               | Material excavable con pico y pala                                      |
| II A             | Material excavable con ripper, martillo neumático o herramienta similar |
| III              | Material excavable con explosivos                                       |

En las siguientes tablas se hace una descripción de la estatigrafía obtenida por medio de la observación de los PCA y del material excavado por las perforaciones con posteadora, además se indica el número de sondeo, cadenamamiento, profundidad alcanzada, el contenido natural de agua del suelo, el porcentaje del tipo de material que le corresponde, la herramienta utilizada.

Se podría concluir con la información obtenida en el estudio antes presentado que el gasoducto:

- De Ciudad Pemex a Mérida, en la mayor parte de los tramos desde el gasoducto va separado de la carretera y existe una terracería que se encuentra en regulares condiciones, esta se utilizó para construir otro gasoducto y podría ser utilizada para la construcción de este.
- En las zonas de inundación temporal que se localizaron en el tramo A se recomienda se construya en tiempo de estiaje, ya que en este período se evapora el agua y el terreno permanece prácticamente seco.
- Los rellenos alrededor de al menos 20 cm de la periferia de la tubería se deberán realizar con material fino o arena, con su contenido de agua óptimo, compactado con equipo manual hasta alcanzar el 95% de su peso volumétrico seco máximo obtenido con la prueba Proctor.

ESTUDIO DE LA ESTATIGRAFÍA DEL GASODUCTO MÉRIDA

| NO. DE PERFORACION O PCA | CADENA-MIENTO | Prof. m | W %  | N.A.P. m | ESTATIGRAFÍA  | TIPO DE MATERIAL |    |     |    | HERRAMIENTA UTILIZADA | RELIEVE DEL TERRENO |
|--------------------------|---------------|---------|------|----------|---|------------------|----|-----|----|-----------------------|---------------------|
|                          |               |         |      |          |   | I                | II | III | IV |                       |                     |
| Tramo A                  |               |         |      |          |   |                  |    |     |    |                       |                     |
| PCA 1A                   | 0+101         | 1       | 31.8 |          | De 0 a 1 m de arcilla de alta compresibilidad, café   | 100              |    |     |    | Posteadora            | Lomerio suave       |
| P1                       | 3+377         | 2       | 40.9 |          | De 0 a 3 m de capa vegetal, de 0.3 a 1 m arcilla con gravillas, de 1 a 2 m de arcilla café grisáceo | 25               | 75 |     |    | Posteadora            | Lomerio suave       |
| P2                       | 4+568         | 2       | 45.8 |          | De 0 a 0.2 m de c. v., de 0.2 a 2m arcilla café con poca arena                                      | 30               | 70 |     |    | Posteadora            | Lomerio suave       |
| P3                       | 6+888         | 2       |      |          | De 0 a 0.4 m arena limosa gris, 0.4 a 2 m arcilla café con arena fina                               | 30               | 70 |     |    | Posteadora            | Lomerio suave       |
| P4                       | 7+472         | 2       | 33.6 |          | De 0 a 0.4 m arcilla gris de 0.4 a 2 m arcilla café rojiza con arena                                | 50               | 50 |     |    | Posteadora            | Lomerio suave       |
| PCA 1                    | 9+855         | 2       | 33.6 |          | De 0 a 0.8 m arcilla café rojizo con gravillas, 0.8 a 2 m arcilla limosa café y gris                | 50               | 50 |     |    | Posteadora            | Lomerio suave       |
| P5                       | 13+284        | 2       | 36.9 |          | De 0 a 0.3 m capa vegetal, 0.3 a 2 m arcilla café rojiza  | 50               | 50 |     |    | Posteadora            | Lomas y arroyos     |
| P6                       | 16+081        | 2       | 29.9 | 5.0      | De 0 a 2 m c.v., 0.2 a 1.8 m arcilla con gravillas, 1.8 a 2 m arcilla café rojiza                   | 90               | 10 |     |    | Posteadora            | Lomas y arroyos     |
| P6 A                     | 22+157        | 2       | 30.2 |          | De 0 a 0.5 m capa vegetal, 0.5 a 2 m arcilla gris de consistencia media a dura                      | 50               | 50 |     |    | Posteadora            | Planicie            |
| P6 B                     | 23+688        | 2       | 34.0 | 1.0      | De 0 a 0.2 m c.v., 0.2 a 2 m arcilla café de alta compresibilidad                                   | 100              |    |     |    | Posteadora            | Planicie            |
| P7                       | 24+853        | 2       | 35.7 |          | De 0 a 0.3 m c.v., 0.3 a 2 m arcilla café rojiza de alta compresibilidad                            | 80               | 20 |     |    | Posteadora            | Planicie            |
| P8                       | 29+055        | 2       | 29.8 | 5.0      | De 0 a 0.6 m c.v., 0.6 a 1.4 m arcilla con grava, 1.4 a 2 m de arcilla café rojiza                  | 100              |    |     |    | Posteadora            | Planicie            |
| P9                       | 33+827        | 2       | 19.7 |          | De 0 a 0.3 m c.v., 0.3 a 1 m arena limosa gris, 1 a 2 m arcilla arenosa café rojizo                 | 100              |    |     |    | Posteadora            | Planicie            |
| P10                      | 35+783        | 2       | 21.5 |          | De 0 a 0.3 m c.v., 0.3 a 2 m arcilla café rojiza de consistencia media                              | 30               | 70 |     |    | Posteadora            | Lomerio suave       |
| P11                      | 41+203        | 2       |      |          | De 0 a 0.4 m c.v., 0.4 a 1.6 m arcilla gris con arena, 1.6 a 2 m arcilla gris                       | 80               | 20 |     |    | Posteadora            | Lomerio suave       |
| P12                      | 47+065        | 2       |      | 4.3      | De 0 a 0.3 m c.v., 0.3 a 1 m arena fina gris, 1 a 2 m arcilla café                                  | 100              |    |     |    | Posteadora            | Lomerio suave       |
| P13                      | 48+349        | 2       | 31.2 |          | De 0 a 0.3 m c.v., 0.3 a 2 m arcilla café de consistencia media                                     | 40               | 60 |     |    | Posteadora            | Lomerio suave       |
| PCA 5                    | 48+349        | 1.5     | 32.0 |          | De 0 a 0.3 m c.v., 0.3 a 0.8 m arcilla café, 0.8 a 1.5 m arcilla gris de alta compresibilidad       | 60               | 40 |     |    | Posteadora            | Valle               |
| P14                      | 53+293        | 2       | 30.5 |          | De 0 a 0.3 m c.v., 0.3 a 2 m arcilla café rojiza  | 40               | 60 |     |    | Posteadora            | Lomerio suave       |
| P15                      | 57+478        | 2       | 22.4 |          | De 0 a 0.3 m c.v., 0.3 a 2 m arcilla gris verdosa   | 50               | 50 |     |    | Posteadora            | Lomerio de pastizal |
| PCA 6                    | 60+775        | 1.5     | 22.0 |          | De 0 a 0.6 m arcilla café rojiza con raíces, 0.6 a 1.5 m arcilla gris                               | 80               | 20 |     |    | Posteadora            | Lomerio suave       |
| P16                      | 62+034        | 2       | 19.8 |          | De 0 a 0.3 m c.v., 0.3 a 2 m arcilla café rojiza con arena fina                                     | 20               | 80 |     |    | Posteadora            | Lomerio de pastizal |
| P17                      | 65+610        | 2       | 19.2 |          | De 0 a 0.3 m c.v., 0.3 a 2 m arena fina limosa gris   | 80               | 20 |     |    | Posteadora            | Planicie            |
| P18                      | 66+610        | 2       | 19.2 |          | De 0 a 0.3 m c.v., 0.3 a 2 m arcilla gris de consistencia media a dura                              | 20               | 80 |     |    | Posteadora            | Planicie            |

Justificación del Proyecto.  
Estudios Necesarios. Mecánica de Suelos.

| Nº DE<br>PERFORACIÓN<br>OPCA | CADENA-<br>MEMBRO | Prof.<br>m | IV<br>% | N.A.F.<br>m | ESTADÍSTICA  | TIPO DE MATERIAL |    |     |     | HERRAMIENTA<br>UTILIZADA | RELIEVE DEL<br>TERRENO       |
|------------------------------|-------------------|------------|---------|-------------|--|------------------|----|-----|-----|--------------------------|------------------------------|
|                              |                   |            |         |             |  | I                | II | IIA | III |                          |                              |
| PCA 7                        | 68+657            | 1.6        | 16.8    |             | De 0 a 0.6 m arena limosa gris oscuro, 0.6 a 1.6 m arcilla gris                          | 40               | 60 |     |     | Posteadora               | Planicie                     |
| P19                          | 72+773            | 2          | 29.4    |             | De 0 a 0.6 m arena limosa gris oscuro, 0.6 a 1.6 m arcilla gris                          | 20               | 80 |     |     | Posteadora               | Planicie                     |
| PCA 8                        | 75+344            | 2          | 23.4    |             | De 0 a 0.5 m c.v., 0.5 a 2 m arcilla café amarillento de consistencia dura               | 25               | 75 |     |     | Posteadora               | Lomerío suave                |
| P21                          | 80+065            | 2          | 27.1    |             | De 0 a 0.3 c.v., 0.3 a 0.7 arcilla café rojiza, 0.7 a 2 m                                | 40               | 60 |     |     | Posteadora               | Lomerío suave                |
| P22                          | 82+762            | 2          | 27.7    | 0.4         | De 0 a 0.2 m c.v., 0.2 a 1.4 m arcilla café, 1.4 a 2 m arena fina limosa                 | 100              |    |     |     | Posteadora               | Planicie                     |
| P23                          | 84+762            | 2          | 30.3    | 0.8         | De 0 a 0.3 m c.v., 0.3 a 2 m arena fina limosa gris                                      | 100              |    |     |     | Posteadora               | Planicie                     |
| PCA 9                        | 90+227            | 1.5        | 16.1    |             | De 0 a 0.4 m c.v. limo con arcillas, 0.4 a 1.5 m arena fina con poco limo                | 100              |    |     |     | Posteadora               | Planicie                     |
| P24                          | 90+725            | 2          | 27.3    |             | De 0 a 0.4 m arcilla arenosa gris, 0.4 a 2 m arcilla café de alta compresibilidad        | 20               | 80 |     |     | Posteadora               | Planicie                     |
| P25                          | 93+891            | 2          | 47.8    |             | De 0 a 0.3 m c.v. de 0.3 a 1 m de arcilla café rojiza, de 1 a 2 m arcilla café           | 50               | 50 |     |     | Posteadora               | Lomerío suave                |
| P26                          | 95+945            | 2          | 39.4    |             | De 0 a 0.2 m c.v. de 0.2 a 2 m arcilla café grisácea                                     | 50               | 50 |     |     | Posteadora               | Planicie                     |
| PCA 10                       | 58+067            | 1          | 32.4    | 2           | De 0 a 1 m arcilla café  | 40               | 60 |     |     | Pico y pala              | Planicie                     |
| P27                          | 101+692           | 2          |         | 0.1         | De 0 a 0.3 m c.v., 0.3 a 2 m arcilla café grisáceo                                       | 50               | 50 |     |     | Posteadora               | Planicie                     |
| P28                          | 108+946           | 2          | 26.9    |             | De 0 a 0.2 m c.v., 0.2 a 2 m arcilla café y gris de consistencia media a dura            | 10               | 90 |     |     | Posteadora               | Planicie                     |
| PCA 10A                      | 108+946           | 2          | 40.7    | 0.1         | De 0 a 0.3 m c.v., 0.3 a 1.6 m arcilla café, 1.6 a 2 m arcilla gris de consistencia dura | 80               | 20 |     |     | Pico y pala              | Planicie arrocera            |
| P30                          | 114+375           | 2          | 25.7    | 2.1         | De 0 a 0.3 m c.v., 0.3 a 2 m arcilla café amarillenta de consistencia dura               | 50               | 50 |     |     | Posteadora               | Planicie arrocera y ganadera |
| P31                          | 115+771           | 2          | 22.1    | 0.4         | De 0 a 0.5 m c.v., 0.5 a 2 m arcilla café amarillenta                                    | 30               | 70 |     |     | Posteadora               | Planicie arrocera            |
| P32                          | 120+778           | 2          | 27.0    |             | De 0 a 0.3 m c.v., 0.3 a 2 m arcilla café amarillenta                                    | 15               | 85 |     |     | Posteadora               | Planicie arrocera            |
| P33                          | 123+732           | 2          | 26.1    |             | De 0 a 0.3 m c.v., 0.3 a 2 m arcilla gris verdosa  | 20               | 80 |     |     | Posteadora               | Planicie ganadera            |
| P34                          | 125+086           | 2          | 24.0    |             | De 0 a 0.3 m c.v., 0.3 a 2 m arcilla gris verdosa  | 20               | 80 |     |     | Posteadora               | Planicie ganadera            |
| PCA 11                       | 128+856           | 2          | 35.9    |             | De 0 a 0.3 m c.v., 0.3 a 2 m arcilla gris  | 20               | 80 |     |     | Pico y pala              | Semiplano                    |
| P36                          | 132+019           | 2          | 33.1    |             | De 0 a 0.3 m c.v., 0.3 a 2 m arcilla gris de alta compresibilidad                        | 20               | 80 |     |     | Posteadora               | Semiplano                    |
| P37                          | 137+010           | 2          | 38.9    | 0.2         | De 0 a 0.4 m c.v., 0.4 a 2 m arcilla café amarillenta                                    | 20               | 80 |     |     | Posteadora               | Semiplano                    |
| PCA 12                       | 139+127           | 2          | 17.1    |             | De 0 a 0.3 m c.v., 0.3 a 2 m arcilla café y gris con grumos de carbonato de calcio       | 20               | 80 |     |     | Pico y pala              | Lomerío suave                |
| P38                          | 140+801           | 2          | 21.9    | 4.1         | De 0 a 0.4 m c.v., 0.4 a 2 m arcilla gris verdosa  | 20               | 80 |     |     | Posteadora               | Lomerío suave                |
| PCA 13                       | 144+130           | 2          | 22.9    |             | De 0 a 0.3 m c.v., 0.3 a 2 m arcilla gris de alta compresibilidad                        | 20               | 80 |     |     | Pico y pala              | Lomerío suave                |
| P39                          | 146+156           | 2          | 27.6    |             | De 0 a 0.3 m c.v., 0.3 a 2 m arcilla café amarillenta                                    | 15               | 85 |     |     | Posteadora               | Semiplano                    |
| P40                          | 148+943           | 2          | 21.1    |             | De 0 a 0.3 m c.v., 0.3 a 0.7 m arcilla gris, 0.7 a 2 m arcilla arenosa gris              | 35               | 65 |     |     | Posteadora               | Planicie de pastizal         |
| PCA 14                       | 151+716           | 2          | 11.9    | 2.1         | De 0 a 0.3 m c.v., 0.3 a 2 m arcilla gris con grumos de carbonato de calcio              | 35               | 65 |     |     | Pico y pala              | Lomerío suave                |
| P40A                         | 155+522           | 2          | 29.4    | 0.1         | De 0 a 0.4 m c.v., 0.4 a 1.1 m arcilla gris media, 1.1 a 2 m arcilla café con grumos     | 55               | 45 |     |     | Posteadora               | Lomerío suave                |

Justificación del Proyecto.  
Estudios Necesarios. Mecánica de Suelos.

| NO. DE PERFORACIÓN O PCA | CADENA-MIENTO | PROF. m | W %  | N.A.F. m | ESTATIGRAFÍA  | TIPO DE MATERIAL |     |     |     | HERRAMIENTA UTILIZADA | RELIEVE DEL TERRENO  |
|--------------------------|---------------|---------|------|----------|---|------------------|-----|-----|-----|-----------------------|----------------------|
|                          |               |         |      |          |   | I                | II  | IIA | III |                       |                      |
| P41                      | 159+634       | 2       | 13.6 | 5.0      | De 0 a 0.3 m c.v., 0.3 a 2 m arena limosa gris blanquecina dura                         | 30               | 70  |     |     | Posteadora            | Lomerío suave        |
| P42                      | 164+491       | 2       | 29.3 |          | De 0 a 0.2 m c.v., 0.2 a 2 m limo arcilloso gris blanquecino (producto de caliza)       | 100              |     |     |     | Posteadora            | Lomerío suave        |
| PCA 15                   | 166+873       | 2       | 20.3 |          | De 0 a 0.8 m arcilla gris obscuro, 0.8 a 2 m arcilla gris                               | 100              |     |     |     | Posteadora            | Lomerío suave        |
| P43                      | 168+286       | 2       | 24.5 | 2.5      | De 0 a 0.8 m arcilla gris obscuro, 0.8 a 2 m arcilla gris blanquecina                   | 100              |     |     |     | Posteadora            | Lomerío suave        |
| P44                      | 171+888       | 2       | 13.0 |          | De 0 a 0.3 m c.v., 0.3 a 0.8 m arcilla café rojiza media, 0.8 a 2 m arcilla gris        | 25               | 75  |     |     | Posteadora            | Lomerío suave        |
| P45                      | 174+942       | 2       | 31.8 | 2.3      | De 0 a 0.3 m c.v., 0.3 a 1.8 m arcilla café rojiza, 1.8 a 2 m arcilla gris              | 90               | 10  |     |     | Posteadora            | Lomerío suave        |
| PCA 16                   | 177+510       | 2       | 20.2 |          | De 0 a 0.3 m c.v., 0.3 a 2 m arcilla arenosa gris                                       | 25               | 75  |     |     | Pico y pala           | Lomerío suave        |
| P46                      | 179+839       | 2       | 23.6 | 1.4      | De 0 a 0.3 m c.v., 0.3 a 1.4 m arcilla gris obscura, 1.4 a 2 m arcilla gris claro       | 100              |     |     |     | Posteadora            | Lomerío suave        |
| P47                      | 181+895       | 2       | 27.9 | 0.8      | De 0 a 0.3 m c.v., 0.3 a 2 m arcilla gris con grumos de caliza                          | 20               | 80  |     |     | Posteadora            | Planicie de pastizal |
| P48                      | 185+250       | 0.6     |      |          | De 0 a 0.6 m arcilla gris obscura con raicillas, 0.6 gravas y boleos de calizas         | 30               | 70  |     |     | Posteadora            | Lomerío suave        |
| PCA 17                   | 187+605       | 2       | 17.7 |          | De 0 a 0.3 m c.v., 0.3 a 2 m arcilla gris con gravas de caliza                          | 15               | 85  |     |     | Pico y pala           | Lomerío suave        |
| P49                      | 189+822       | 2       | 21.6 |          | De 0 a 0.4 m c.v., 0.4 a 2 m arcilla limosa blanquecina                                 | 80               | 20  |     |     | Posteadora            | Lomerío suave        |
| P50                      | 192+221       | 0.4     |      |          | De 0 a 0.4 m c.v., 0.4 gravas de caliza empacadas en limo                               | 20               | 80  |     |     | Posteadora            | Lomerío suave        |
| P51                      | 194+079       | 0.4     |      | 3.0      | De 0 a 0.4 m c.v., 0.4 gravas y boleos de calizas                                       | 20               | 80  |     |     | Posteadora y barreta  | Lomerío suave        |
| PCA 18                   | 157+042       | 2       | 33.2 |          | De 0 a 0.3 m c.v., 0.3 a 2 m arcilla gris de alta compresibilidad                       | 30               | 70  |     |     | Pico y pala           | Lomerío suave        |
| P52                      | 150+048       | 0.6     |      |          | De 0 a 0.3 m c.v., 0.3 a 0.6 m limo arcilloso blanquecino, 0.6 m caliza gris porosa     | 30               | 10  | 60  |     | Posteadora y Barreta  | Lomerío suave        |
| P54                      | 203+773       | 2       | 17.0 |          | De 0 a 0.3 m c.v., 0.3 a 0.6 m limo arcilloso blanquecino, 0.6 a 2 m caliza gris        | 40               | 60  |     |     | Posteadora            | Planicie             |
| PCA 19                   | 207+450       | 2       | 33.8 |          | De 0 a 0.3 m c.v., 0.3 a 2 m arcilla gris de consistencia dura                          | 40               | 60  |     |     | Posteadora            | Lomerío suave        |
| P55                      | 211+492       | 1.5     |      |          | De 0 a 0.3 m c.v., 0.3 a 1.5 m arcilla gris.  |                  | 100 |     |     | Posteadora            | Lomerío suave        |
| P56                      | 214+593       | 1.7     | 28.8 |          | De 0 a 0.3 m c.v., 0.3 a 1.7 m arcilla gris, 1.7 m caliza crema                         | 15               | 75  | 10  |     | Posteadora y barreta  | Lomerío suave        |
| Tramo B                  |               |         |      |          |   |                  |     |     |     |                       |                      |
| PCA 20                   | 216+229       | 2       | 34.0 |          | De 0 a 0.3 m c.v., 0.3 a 2 m arcilla gris blanquecina con grumos de carbonato de calcio | 20               | 80  |     |     | Pico y pala           | Lomerío suave        |
|                          | 220+328       | 1.2     | 34.6 |          | De 0 a 0.6 m c.v., 0.6 a 1.2 m limo arcilloso gris blanquecino, 1.2 m gravas            | 60               | 40  |     |     | Posteadora y Barreta  | Semiplano            |
| PCA 21                   | 223+336       | 2       | 21.4 |          | De 0 a 0.3 m c.v., 0.3 a 2 m limo con gravas defeznables de caliza                      | 40               | 60  |     |     | Pico y pala           | Lomerío suave        |
| P58                      | 226+890       | 0.9     | 20.3 |          | De 0 a 0.3 m c.v., 0.3 a 0.9 m arcilla gris   | 10               | 80  | 10  |     | Posteadora y barreta  | Lomerío suave        |

Justificación del Proyecto.  
Estudios Necesarios. Mecánica de Suelos.

| NO. DE PERFORACION O PCA | CADENA-MIENTO | PROF. m | W %  | NAF. m | ESTRATIGRAFIA  | TIPO DE MATERIAL |    |     |     | HERRAMIENTA UTILIZADA | RELIEVE DEL TERRENO         |
|--------------------------|---------------|---------|------|--------|--|------------------|----|-----|-----|-----------------------|-----------------------------|
|                          |               |         |      |        |  | I                | II | IIA | III |                       |                             |
| P59                      | 232+448       | 1       | 15.4 |        | De 0 a 0.3 m c.v., 0.3 a 0.8 m arcilla gris, 0.8 a 1 m boleos y gravas de caliza               | 10               | 50 | 40  |     | Posteadora y barreta  | Lomerío suave               |
| PCA 22                   | 233+505       | 2       | 35.4 |        | De 0 a 0.3 m c.v., 0.3 a 2 m arcilla limosa gris   | 15               | 85 |     |     | Pico y pala           | Lomerío suave               |
| P60                      | 237+664       | 2       | 21.9 |        | De 0 a 0.3 m c.v., 0.3 a 2 m arcilla gris  | 30               | 70 |     |     | Posteadora y barreta  | Semiplano                   |
| P61                      | 240+269       | 1.5     | 14.7 |        | De 0 a 0.3 m c.v., 0.3 a 1.5 m limo arcilloso duro gris blanquecino                            | 15               | 85 |     |     | Posteadora y barreta  | Lomerío suave               |
| P62                      | 241+171       | 2       | 43.7 |        | De 0 a 0.3 m c.v., 0.3 a 2 m arcilla gris de consistencia media                                | 100              |    |     |     | Posteadora            | Valle                       |
| PCA 23                   | 244+013       | 0.6     |      |        | De 0 a 0.3 m c.v., 0.3 a 0.6 m caliza arcillosa color crema, 0.6 m caliza compacta             | 15               | 15 | 70  |     | Pico y pala           | Lomerío suave               |
| P63                      | 246+116       | 1       |      |        | De 0 a 0.6 m c.v., 0.6 a 1 m arcilla gris, 1 m grava y boleos de caliza                        |                  | 50 | 50  |     | Posteadora y barreta  | Cerros bajos                |
| P64                      | 248+125       | 1.4     | 13.1 |        | De 0 a 0.5 m c.v., 0.5 a 1.4 limo arcilloso duro, 1.4 m gravas de caliza crema                 | 25               | 75 |     |     | Posteadora y barreta  | Lomerío suave               |
| P65                      | 250+379       | 2       | 29.7 |        | De 0 a 0.3 m c.v., 0.3 a 2 m limo arcilloso duro   | 10               | 90 |     |     | Posteadora y barreta  | Lomerío suave               |
| PCA 24                   | 253+524       | 2       |      |        | De 0 a 0.3 m c.v., 0.3 a 2 m limo arcilloso duro gris blanquecino                              | 15               | 85 |     |     | Pico y pala           | Lomerío suave               |
| P66                      | 255+557       | 2.5     | 9.5  |        | De 0 a 0.4 m c.v., 0.4 a 2.5 m limo gris blanquecino con boleos                                | 20               | 80 |     |     | Posteadora y barreta  | Lomerío suave               |
| P67                      | 258+898       | 1.8     | 17.0 |        | De 0 a 0.3 m c.v., 0.3 a 1.8 m limo arcilloso gris blanquecino                                 | 15               | 85 |     |     | Posteadora y barreta  | Lomerío suave               |
| P68                      | 260+366       | 0.4     |      |        | De 0 a 0.1 m c.v., 0.1 a 0.4 m boleos de caliza, 0.4 m caliza semidura                         |                  | 5  | 95  |     | Posteadora y barreta  | Lomerío suave afiora caliza |
| PCA 25                   | 263+366       | 2       | 12.7 |        | De 0 a 0.3 m c.v., 0.3 a 2 m caliza muy porosa y deleznable                                    | 15               | 85 |     |     | Pico y pala           | Lomerío suave               |
| P69                      | 266+653       | 1.3     | 30.2 | 0.5    | De 0 a 0.2 m c.v., 0.2 a 1.3 m limo arcilloso duro   | 10               | 70 | 20  |     | Posteadora y barreta  | Lomerío suave               |
| P70                      | 269+536       | 1       | 17.7 | 0.4    | De 0 a 0.4 m c.v., 0.4 a 1 m gravas y boleos de caliza empacados en limo                       | 20               | 40 | 40  |     | Posteadora y barreta  | Valle inundado              |
| PCA 26                   | 273+737       | 1.6     | 37.4 |        | De 0 a 0.3 m c.v., 0.3 a 1.6 m limo arcilloso color gris                                       | 15               | 75 | 10  |     | Pico y pala           | Valle                       |
| P71                      | 276+584       | 0.3     |      | 0.1    | De 0 a 0.3 m c.v., 0.3 m caliza sana   | 15               |    | 40  | 45  | Posteadora y barreta  | Lomerío suave               |
| P72                      | 277+604       | 1.2     | 16.9 | 1.4    | De 0 a 0.4 m c.v., 0.4 a 1.2 m limo gris blanquecino con gravas de caliza                      | 20               | 40 | 20  | 20  | Posteadora y barreta  | Cerro afiora caliza         |
| P73                      | 279+269       | 0.4     |      |        | De 0 a 0.4 m c.v., 0.4 m arcilla caliza sana   |                  | 50 | 30  | 20  | Posteadora y barreta  | Cerro                       |
| PCA 27                   | 283+910       | 1.5     | 41.2 |        | De 0 a 0.3 m c.v., 0.3 a 0.6 m limo calcáreo gris, 0.6 a 1.5 m caliza arcillosa muy deleznable | 30               | 50 | 20  |     | Pico y pala           | Valle                       |

Justificación del Proyecto.  
Estudios Necesarios. Mecánica de Suelos.

| NO. DE PERFORACION O PCA | CADENA-MIENTO | PROF. m | W %  | NAF m | ESTRATIGRAFIA   | TIPO DE MATERIA |     |     |     | HERRAMIENTA UTILIZADA | RELIEVE DEL TERRENO    |
|--------------------------|---------------|---------|------|-------|---|-----------------|-----|-----|-----|-----------------------|------------------------|
|                          |               |         |      |       |   | I               | II  | IIA | III |                       |                        |
| P74                      | 285+366       | 2       | 41.8 | 2.0   | De 0 a 0.1 m c.v., 0.1 a 2 m arcilla gris media a dura  | 50              | 50  |     |     | Posteadora            | Valle pastizal         |
| P75                      | 289+379       | 2       | 13.2 |       | De 0 a 0.6 m c.v., 0.6 a 2 m limo alcareo gris, 0.6 a 2 m limo arenoso gris blanquecino con gravas deleznales de caliza | 30              | 70  |     |     | Posteadora y barreta  | Lomerio suave          |
| P76                      | 292+210       | 2       | 22.8 | 0.6   | De 0 a 0.6 m c.v., 0.6 a 2 m limo arenoso gris blanquecino duro   | 30              | 70  |     |     | Posteadora            | Valle pastizal         |
| PCA 28                   | 294+604       | 1       | 11.2 |       | De 0 a 0.3 m c.v., 0.3 a 1 m caliza arcillosa deleznable color crema  | 15              |     | 85  |     | Pico y pala           | Valle pastizal         |
| P77                      | 298+351       | 2       | 54.5 | 2.4   | De 0 a 0.2 m c.v., 0.2 a 2 m arcilla de alta compresibilidad  | 20              | 80  |     |     | Posteadora            | Valle pastizal         |
| P78                      | 300+722       | 2       | 26.2 |       | De 0 a 0.5 m arcilla con gravas, 0.5 a 2 m limo arcilloso duro  |                 | 100 |     |     | Posteadora            | Lomerio suave          |
| P79                      | 300+526       | 2       |      | 4.2   | De 0 a 0.2 m c.v., 0.2 a 2 m limo arcilloso gris con arena  | 10              | 90  |     |     | Posteadora            | Lomerio suave          |
| PCA 29                   | 304+308       | 1.5     | 30.2 |       | De 0 a 0.3 m c.v., 0.3 a 1.5 m limo gris blanquecino  | 20              | 80  |     |     | Pico y pala           | Lomerio suave          |
| P80                      | 305+254       | 2       |      |       | De 0 a 0.5 m caliza intemperizada, 0.5 a 2 m caliza intemperizada y deleznable  |                 | 90  | 10  |     | Posteadora y barreta  | Lomerio suave          |
| P81                      | 307+851       | 2       |      |       | De 0 a 0.4 m c.v., 0.4 a 0.9 m arcilla gris, 0.9 a 2 m limo arcilloso duro  | 50              | 50  |     |     | Posteadora            | Planicie de pastizales |
| P82                      | 309+613       | 0.4     |      |       | De 0 a 0.2 m c.v., 0.2 a 0.4 limo arcilloso duro, 0.4 caliza gris   | 10              | 10  | 50  | 30  | Posteadora y barreta  | Lomerio suave          |
| P83                      | 311+582       | 0.3     |      |       | De 0 a 0.3 m c.v., 0.3 m caliza intemperizada   |                 | 10  | 90  |     | Posteadora y barreta  | Lomas pendiente media  |
| PCA 30                   | 314+782       | 1.5     | 34.1 |       | De 0 a 0.3 m c.v., 0.3 a 1.5 m boleas y gravas empacadas en limos de origen calcáreo                                    | 15              | 85  |     |     | Pico y pala           | Lomas pendiente media  |
| P84                      | 315+735       | 2       |      |       | De 0 a 0.3 m c.v., 0.3 a 2 m caliza medianamente sana en estratos de 20 cm  |                 | 20  | 60  | 20  | Corte carretera       | Lomerios               |
| P85                      | 319+290       | 0.1     |      |       | De 0 a 0.1 m c.v., 0.1 m caliza dura dolomitizada   |                 |     | 50  | 50  | Posteadora y barreta  | Lomerios               |
| P86                      | 322+097       | 2       |      | 3.3   | De 0 a 0.5 m arcilla café rojiza, 0.5 a 2 m limo gris compactado con boleas de caliza                                   |                 | 60  | 40  |     | Pozo de agua          | Valle y cerro          |
| PCA 31                   | 325+785       | 1       | 26.7 |       | De 0 a 0.3 m c.v., 0.3 a 1 m limo arcilloso duro  | 15              | 85  |     |     | Pico y pala           |                        |
| P87                      | 329+232       | 2       |      | 1.1   | De 0 a 0.2 m c.v., 0.2 a 2 m caliza arcillosa medianamente intemperizada  | 10              | 60  | 30  |     | Pozo de agua          |                        |
| P88                      | 331+095       | 2       |      | 1.2   | De 0 a 0.4 m c.v., 0.4 a 2 m limo arcilloso duro  |                 | 70  | 30  |     | Posteadora y barreta  | Valle con monte bajo   |
| P89                      | 332+805       | 0.2     | 19.5 |       | De 0 a 0.2 m c.v., 0.2 m caliza fosilifera blanca medianamente sana   |                 | 10  | 60  | 30  | Barreta               | Planicie               |
| P90                      | 334+033       | 0.4     |      | 0.1   | De 0 a 0.4 m c.v., 0.4 m caliza fosilifera en bloques   |                 | 20  | 60  | 20  | Barreta               | Planicie               |
| P91                      | 334+750       | 2       | 18.8 |       | De 0 a 0.3 m c.v., 0.3 a 2 m arcilla limosa gris blanquecino con grumos   | 15              | 85  |     |     | Posteadora            | Valle de caña          |
| PCA 32                   | 334+899       | 1.5     | 16.0 |       | De 0 a 0.3 m c.v., 0.3 a 1.5 m limo blanquecino con gravillas de caliza   | 15              | 85  |     |     | Pico y pala           | Valle de caña          |
| P92                      | 337+210       | 2       | 12.4 |       | De 0 a 0.6 m c.v., 0.6 a 2 m limo gris blanquecino con grumos de caliza arcillosa                                       | 30              | 70  |     |     | Posteadora            | Valle de caña          |
| PCA 33                   | 339+890       | 1.5     | 11.0 |       | De 0 a 0.3 m c.v., 0.3 a 1.5 m limo blanquecino con gravillas de caliza arcillosa                                       | 15              | 85  |     |     | Pico y pala           | Valle de caña          |

Justificación del Proyecto.  
Estudios Necesarios. Mecánica de Suelos.

| NO. DE PERFORACION O PCA | CADENA-MIENTO | PROF. m | W %  | NAT. m | ESTATIGRAFIA   | TIPO DE MATERIA |     |     |     | HERRAMIENTA UTILIZADA | RELIEVE DEL TERRENO            |
|--------------------------|---------------|---------|------|--------|--|-----------------|-----|-----|-----|-----------------------|--------------------------------|
|                          |               |         |      |        |  | I               | II  | IIA | III |                       |                                |
| P93                      | 341+580       | 0.5     |      |        | De 0 a 0.2 m c.v., 0.2 a 0.5 m caliza semisana en estratos   |                 | 10  | 60  | 30  | Corte carretero       | Serranía de selva baja         |
| P94                      | 345+215       | 0.9     |      |        | De 0 a 0.2 m c.v., 0.2 a 0.9 m caliza semisana   | 10              | 30  | 60  |     | Posteadora y barreta  | Serranía de selva baja         |
| P95                      | 346+915       | 0.6     |      |        | De 0 a 0.3 m c.v., 0.3 a 0.6 m caliza intemperizada, 0.6 m caliza sana   | 15              | 15  | 35  | 35  | Posteadora y barreta  | Serranía de selva baja         |
| PCA 34                   | 350+740       | 1.8     | 31.3 |        | De 0 a 0.3 m c.v., 0.3 a 1.5 m limo gris oscuro, 1.5 a 1.8 m limo café con grumos                                    | 15              | 85  |     |     | Pico y pala           | Serranía de selva baja         |
| P96                      | 351+980       | 0       |      |        | De 0 a 0.5 m c.v., 0.5 a 2 m caliza arcillosa deleznable   | 10              | 70  | 20  |     | Corte carretero       | Cerros medios de caliza        |
| P97                      | 356+285       | 0       | 12.8 |        | De 0 a 0.3 m c.v., 0.3 a 2 m limo arcilloso con grumos   | 15              | 85  |     |     | Posteadora            | Planicie                       |
| P98                      | 356+525       | 0.5     |      |        | De 0 a 0.2 m c.v., 0.2 a 0.5 m caliza arcillosa deleznable   | 10              | 70  | 20  |     | Posteadora y barreta  | Lomerío medio                  |
| PCA 35                   | 360+515       | 0.8     | 6.5  |        | De 0 a 0.7 m c.v., 0.7 m caliza arcillosa dura y compacta  | 15              |     |     | 85  | Pico y pala           | Lomerío medio                  |
| P100                     | 363+115       | 2.5     |      |        | De 0 a 0.1 m c.v., 0.1 a 2.5 m limo gris claro poco compacto con boleos y gravas                                     |                 | 100 |     |     | Pico y pala           | Lomerío medio                  |
| P101                     | 365+465       | 0.7     |      |        | De 0 a 0.3 m c.v., 0.3 a 0.7 m arcilla café rojiza, 0.7 m caliza sana  | 35              |     | 25  | 40  | Posteadora y barreta  | Valle                          |
| P102                     | 367+325       | 2       | 40.5 |        | De 0 a 0.3 m c.v., 0.3 a 1.6 m arcilla gris de consistencia media, 1.6 a 2 m arcilla gris clara de consistencia alta | 100             |     |     |     | Posteadora            | Valle inundable                |
| Tramo C                  |               |         |      |        |  |                 |     |     |     |                       |                                |
| PCA 36                   | 368+415       | 2       | 11.7 |        | De 0 a 0.1 m c.v., 0.1 a 2 m limo calcáreo con grumos de caliza arcillosa  |                 |     |     |     | Pico y pala           | Lomerío suave                  |
| P103                     | 371+555       | 1.4     | 28.8 |        | De 0 a 0.2 m c.v., 0.2 a 1.4 m caliza arcillosa fosilífera media compacta  |                 | 20  | 50  | 30  | Corte carretero       | Serranía de selva              |
| P104                     | 373+990       | 2       | 31.9 |        | De 0 a 0.4 m c.v., 0.4 a 2 m arcilla de consistencia alta gris   |                 | 100 |     |     | Posteadora            | Valle                          |
| P105                     | 375+740       | 2       |      |        | De 0 a 0.3 m c.v., 0.3 a 2 m caliza medianamente sana  |                 | 50  | 25  | 25  | Corte carretero       | Lomerío medio                  |
| PCA 37                   | 377+370       | 0.5     |      |        | De 0 a 0.1 m c.v., 0.1 a 0.5 m caliza de color crema dura y compacta   |                 |     | 100 |     | Pico y pala           | Lomeríos de calizas arcillosas |
| P106                     | 379+215       | 1.5     | 12.3 |        | De 0 a 0.3 m c.v., 0.3 a 1.5 m limo gris claro compacto  |                 | 80  | 20  |     | Posteadora y barreta  | Lomeríos medios                |
| P107                     | 381+540       | 0.6     |      |        | De 0 a 0.6 m boleos y gravas de caliza empacados en limo, 0.6 m caliza   |                 | 30  | 40  | 30  | Posteadora y barreta  | Serranía media con vegetación  |
| P108                     | 382+410       | 0.5     |      |        | De 0 a 0.5 m coleos empacados en limo, 0.5 m caliza  |                 | 40  | 30  | 20  | Posteadora y barreta  | Lomerío suave                  |

Justificación del Proyecto.  
Estudios Necesarios. Mecánica de Suelos.

| NO. DE PERFORACIÓN O PCA | CADENA-MIENTO | PROF. m | W %  | N.A.F. m | ESTATIGRAFÍA  | TIPO DE MATERIAL |    |     |     | HERRAMIENTA UTILIZADA | RELIEVE DEL TERRENO          |
|--------------------------|---------------|---------|------|----------|---|------------------|----|-----|-----|-----------------------|------------------------------|
|                          |               |         |      |          |   | I                | II | IIA | III |                       |                              |
| PCA 38                   | 384+340       | 0.5     |      |          | De 0 a 0.5 m c.v., 0.5 m caliza brecha de color gris a blanco dura y compacta                                     |                  | 25 |     | 75  | Pico y pala           | Lomerío suave de calizas     |
| P109                     | 386+980       | 0.3     |      |          | De 0 a 0.3 m c.v., 0.3 m caliza arcillosa intemperizada   |                  | 20 | 40  | 40  | Barreta               | Lomerío suave                |
| P110                     | 388+320       | 1.5     | 23.9 |          | De 0 a 0.6 m c.v., 0.6 a 1.5m limo de color crema con gravas deleznales de caliza                                 |                  | 75 | 25  |     | Posteadora y barreta  | Lomerío suave                |
| P111                     | 389+510       | 2       | 37.5 |          | De 0 a 0.6 m c.v., 0.6 a 2 m arcilla café amarillenta   | 30               | 70 |     |     | Posteadora y barreta  | Valle de pasto               |
| PCA 39                   | 390+790       | 1.2     | 26.4 |          | De 0 a 0.3 m c.v., 0.3 a 1.2 m limo color ocre, 1.2 m caliza dura y compacta                                      | 60               |    | 40  |     | Pico y pala           | Lomerío suave                |
| P112                     | 393+220       | 0.6     |      |          | De 0 a 0.6 m boleos y gravas de caliza, 0.6 m caliza sana en bloques  |                  | 30 | 35  | 35  | Posteadora y barreta  | Lomerío medio de caliza      |
| P113                     | 397+290       | 0.6     | 14.9 |          | De 0 a 0.6 m c.v. con gravas de caliza, 0.6 m caliza arcillosa semidura   |                  | 30 | 50  | 20  | Posteadora y barreta  | Lomerío medio de caliza      |
| P114                     | 399+550       | 0.7     |      |          | De 0 a 0.7 . c.v. con boleos de caliza, 0.7 m caliza dolomitizada   |                  | 35 | 40  | 25  | Posteadora y barreta  | Lomerío suave                |
| P115                     | 401+370       | 0.6     |      |          | De 0 a 0.6 m c.v., 0.6 m caliza arcillosa semicompacta  |                  | 20 | 70  | 10  | Posteadora y barreta  | Valle de acahualillo         |
| PCA 40                   | 402+420       | 1.2     | 13.5 |          | De 0 a 0.3 m c.v., 0.3 a 1.2 m bloques de caliza en limo arcilloso, 1.2 m caliza dura y compactada de color crema | 60               |    | 40  |     | Pico y pala           | Valle                        |
| P116                     | 405+250       | 0.7     |      |          | De 0 a 0.3 m c.v., 0.3 a 0.7 m arcilla café rojiza, 0.7 m caliza  |                  | 25 | 50  | 25  | Posteadora y barreta  | Valle pastizal aflora caliza |
| P117                     | 407+580       | 1.8     | 10.9 |          | De 0 a 0.3 m c.v., 0.3 a 1.8 m limo semicompacto color crema  |                  | 90 | 10  |     | Posteadora y barreta  | Lomerío medio                |
| PCA 41                   | 409+610       |         |      |          | Afloramiento de calizas arcillosas de estratificación delgada deleznales  |                  |    | 100 |     | Posteadora y barreta  | Lomerío suave                |
| P118                     | 411+920       | 2       | 28.3 |          | De 0 a 0.2 m c.v., 0.2 a 2 m arcilla café rojiza de alta compresibilidad  | 80               | 20 |     |     | Posteadora y barreta  | Planicie de pastizales       |
| P119                     | 413+580       | 0.4     | 22.7 |          | De 0 a 0.4 m caliza arcillosa deleznable, 0.4 m caliza semicompacta   |                  | 20 | 80  |     | Posteadora y barreta  | Planicie                     |
| P120                     | 416+950       | 0.3     |      |          | De 0 a 0.3 m boleos empacados en arcilla  |                  | 70 | 20  | 10  | Posteadora y barreta  | Planicie de acahualillo      |
| PCA 42                   | 419+880       | 1.2     | 27.2 |          | De 0 a 0.2 m c.v., 0.2 a 1.2 m limo rojizo  | 60               |    | 20  | 20  | Pico y pala           | Terrano plano                |
| P121                     | 421+750       | 0.3     |      |          | De 0 a 0.3 m boleos de caliza, 0.3 m caliza semicompacta gris blanquecina   |                  | 40 | 40  | 20  | Pico y pala           | Lomerío medio semiplano      |
| P122                     | 425+000       | 1.2     | 29.9 |          | De 0 a 1.2 m arcilla café rojiza, 1.2 m gravas y boleos de caliza   | 60               | 20 | 20  |     | Posteadora y barreta  | Lomerío medio                |

Justificación del Proyecto.  
Estudios Necesarios. Mecánica de Suelos.

| NO. DE PERFORACIÓN O PCA | CADENA-MIENTO | Prof. m. | W %  | N.A.F. m | ESTADÍSTICA   | TIPO DE MATERIAL |     |     |     | HERRAMIENTA UTILIZADA | RELIEVE DEL TERRENO      |
|--------------------------|---------------|----------|------|----------|---|------------------|-----|-----|-----|-----------------------|--------------------------|
|                          |               |          |      |          |   | I                | II  | IIA | III |                       |                          |
| P123                     | 427+000       | 1.5      |      |          | De 0 a 1.5 m caliza deleznable gris blanquecina, 1.5 m caliza compacta  |                  | 75  | 25  |     | Posteadora y barreta  | Lomerío medio de acahual |
| PCA 43                   | 428+680       | 0.6      |      |          | De 0 a 0.6 m suelo residual con bloques de caliza de 0.3 m de diámetro, 0.6 m dolomias muy alteradas y deleznales     |                  | 100 |     |     | Pico y pala           | Planicie                 |
| P124                     | 431+580       | 0.9      |      |          | De 0 a 0.7 m arcilla café rojiza de alta compresibilidad, 0.7 a 0.9 m caliza arcillosa                                |                  | 35  | 45  | 20  | Posteadora y barreta  | Lomerío medio de acahual |
| P125                     | 435+680       | 2        |      |          | De 0 a 0.7 m arcilla café rojiza de alta compresibilidad, 0.7 m caliza arcillosa                                      |                  | 35  | 30  | 35  | Posteadora y barreta  | Lomerío medio de acahual |
| P126                     | 437+550       | 0.7      | 21.9 |          | De 0 a 0.7 m arcilla café rojiza, 0.7 m caliza dolomitizada   |                  | 35  | 30  | 35  | Posteadora y barreta  | Semiplano                |
| PCA 44                   | 440+900       | 0.5      |      |          | De 0 a 0.5 m c.v., 0.5 m caliza arcillosa color crema dura y compacta con clastos de pedernal y disolución incipiente | 15               | 65  | 20  |     | Pico y pala           | Lomerío suave            |
| P127                     | 443+550       | 0.4      |      |          | De 0 a 0.4 m arcilla café rojiza, 0.4 m dolomitas sanas   |                  | 20  | 30  | 50  | Posteadora y barreta  | Semiplano                |
| P128                     | 445+660       | 0.3      |      |          | De 0 a 0.3 m c.v., 0.3 m caliza arcillosa media cementada   |                  | 30  | 60  | 10  | Posteadora y barreta  | Valle                    |
| P129                     | 448+040       | 1.5      | 72.0 |          | De 0 a 0.3 m c.v., 0.3 a 1.5 m limo semicompacto color crema  |                  |     | 25  | 75  | Posteadora y barreta  | Valle de acahual         |
| PCA 45                   | 451+500       | 0.5      |      |          | De 0 a 0.5 m c.v., 0.5 m caliza muy alterada con lentes de caliza dura y compacta                                     | 25               | 65  | 10  |     | Pico y pala           | Planicie                 |
| P130                     | 455+325       | 0.4      | 4.7  |          | De 0 a 0.4 m c.v., 0.4 m limo arcilloso duro  |                  | 40  | 40  | 20  | Posteadora y barreta  | Lomerío de acahual       |
| P131                     | 457+420       | 0.8      |      |          | De 0 a 0.8 m limo arcilloso café rojizo, 0.8 m boleos de caliza arcillosa   |                  | 40  | 40  | 20  | Posteadora y barreta  | Lomerío suave de acahual |
| P132                     | 459+120       | 0.5      |      |          | De 0 a 0.5 m limo arcilloso café rojizo, 0.5 m caliza dura  |                  | 30  |     | 70  | Posteadora y barreta  | Lomerío suave de acahual |
| PCA 46                   | 462+000       | 0.3      | 25.1 |          | De 0 a 0.3 m c.v., 0.3 m caliza dura compacta y permeable color crema   | 15               |     | 70  | 15  | Pala y pico           | Lomerío suave de acahual |
| P133                     | 464+770       | 0.6      |      |          | De 0 a 0.6 m limo arcilloso duro, 0.6 m caliza arcillosa compacta   |                  | 55  | 35  | 10  | Pala y pico           | Lomerío suave de acahual |
| P134                     | 467+000       | 0.9      | 10.8 |          | De 0 a 0.9 m limo arcilloso gris semicompacto   |                  | 50  | 50  |     | Pala y pico           | Lomerío suave de acahual |
| P135                     | 470+200       | 0.7      |      |          | De 0 a 0.7 m arcilla de alta compresibilidad café rojiza, 0.7 m caliza dolomitizada fosilífera                        | 35               |     |     | 65  | Posteadora y barreta  | Lomerío suave de acahual |
| PCA 47                   | 471+990       | 0.6      | 21.8 |          | De 0 a 0.1 m c.v., de 0.1 a 0.5 m limo arcilloso color ocre sin adhesión seco, 0.5 m caliza dura                      | 25               |     | 60  | 15  | Pala y pico           | Lomerío suave            |

Justificación del Proyecto.  
Estudios Necesarios. Mecánica de Suelos.

| NO. DE PERFORACIÓN O PCA | CADENA MIENTO | PROF. m | IV. % | NAF. m | ESTRATIGRAFÍA  | TIPO DE MATERIAL |    |     |     | HERRAMIENTA UTILIZADA | RELIEVE DEL TERRENO         |
|--------------------------|---------------|---------|-------|--------|--|------------------|----|-----|-----|-----------------------|-----------------------------|
|                          |               |         |       |        |  | I                | II | IIA | III |                       |                             |
| P136                     | 474+920       | 1.4     | 19.1  |        | De 0 a 1.4 m arcilla café rojiza de alta compresibilidad, 1.4 m caliza fosilífera                                |                  | 70 |     | 30  | Posteadora y barreta  | Lomerío suave de acahual    |
| P137                     | 476+370       | 0.6     |       |        | De 0 a 0.6 m arcilla café rojiza de alta compresibilidad con boleos, 0.6 m caliza dolomitizada                   |                  | 30 |     | 70  | Posteadora y barreta  | Lomerío suave de acahual    |
| P138                     | 478+020       | 0.4     |       |        | De 0 a 0.4 m c.v., con boleos de caliza, 0.4 m caliza dolomita y fosilífera                                      |                  | 20 |     | 80  | Posteadora y barreta  | Lomerío suave de acahual    |
| PCA 48                   | 481+540       | 0.6     | 21.7  |        | De 0 a 0.2 m c.v., 0.2 a 0.5 m limo rojizo, 0.5 a 0.6 m caliza color crema dura y compacta                       |                  | 25 |     | 75  | Pala y pico           | Planicie                    |
| P139                     | 480+940       | 1.2     |       |        | De 0 a 0.8 m caliza sana, 0.8 a 1.2 m caliza arcillosa   |                  |    | 40  | 60  | Corte carretero       | Lomerío suave               |
| P140                     | 485+800       | 0.6     |       |        | De 0 a 0.15 m c.v., 0.15 a 0.6 m caliza dura con estratos de 0.1 m de espesor                                    |                  | 10 | 70  | 20  | Corte carretero       | Valle de acahual            |
| P141                     | 488+540       | 0.4     |       |        | De 0 a 0.4 m boleos de caliza empacados en limo del mismo material, 0.4 m caliza arcillosa dura                  |                  | 20 |     | 80  | Corte carretero       | Lomerío suave de monte bajo |
| PCA 49                   | 491+110       | 1       | 20.9  |        | De 0 a 0.1 m c.v., 0.1 a 0.8 m limo arcilloso con gravillas, 0.8 a 1 m caliza con clastos de caliza dolomitizada |                  | 40 |     | 60  | Corte carretero       | Lomerío suave de monte bajo |
| P142                     | 492+540       | 0.5     |       |        | De 0 a 0.5 m c.v., 0.5 m caliza dolomitizada   |                  |    | 25  | 75  | Corte carretero       | Lomerío suave de monte bajo |
| P143                     | 495+540       | 1       |       |        | De 0 a 1 m boleos de caliza deleznable en capas de 0.2 m, 1 m caliza dura en capas de 0.2 m                      |                  | 30 | 60  | 10  | Corte carretero       | Lomerío suave de acahual    |
| P144                     | 497+540       | 0.5     |       |        | De 0 a 0.5 m boleos empacados en limo, 0.5 m caliza arcillosa compacta   |                  | 25 | 55  | 20  | Corte carretero       | Lomerío suave de acahual    |
| PCA 50                   | 500+535       | 0.2     | 21.4  |        | De 0 a 0.2 m c.v., 0.2 m caliza color crema muy dura   | 10               |    |     | 90  | Corte carretero       | Lomerío suave de acahual    |
| P145                     | 503+165       | 0.9     | 17.3  |        | De 0 a 0.9 m arcilla café rojiza, 0.9 caliza semidura  | 20               | 25 | 25  | 30  | Posteadora            | Lomerío medio y valle       |
| P146                     | 505+015       | 0.8     |       |        | De 0 a 0.8 m boleos de caliza empacados en arcilla café rojiza, 0.8 m caliza fosilífera                          |                  | 25 |     | 75  | Posteadora y barreta  | Lomerío suave de acahual    |
| P147                     | 507+465       | 0.8     |       |        | De 0 a 0.8 m limo arcilloso café rojizo, 0.8 m caliza arcillosa fosilífera compacta                              |                  | 5  |     | 95  | Posteadora y barreta  | Lomerío suave de acahual    |
| PCA 51                   | 509+365       | 0.1     |       |        | De 0 a 0.1 m c.v., 0.1 m brecha calcárea con clastos de caliza dura  | 5                |    | 15  | 80  | Pala y pico           | Planicie                    |
| P148                     | 512+015       | 0.1     |       |        | De 0 a 0.1 m c.v., 0.1 m caliza compacta gris  |                  | 5  |     | 95  | Posteadora y barreta  | Lomerío suave de acahual    |
| P149                     | 514+765       | 0.5     |       |        | De 0 a 0.5 m gravas y boleos de caliza empacadas, 0.5 m caliza fosilífera  |                  | 25 |     | 75  | Posteadora y barreta  | Aflora caliza arcillosa     |

Justificación del Proyecto.  
Estudios Necesarios. Mecánica de Suelos.

| NO. DE PERFORACIÓN<br>O PCA | CADENA<br>MENTO | Prof.<br>m | W<br>%    | N.A.F.<br>m | ESTRATIGRAFÍA  | TIPO DE MATERIA |    |     |     | PERFORACIÓN<br>UTILIZADA | RELEVÉ DEL<br>TERRENO    |
|-----------------------------|-----------------|------------|-----------|-------------|--|-----------------|----|-----|-----|--------------------------|--------------------------|
|                             |                 |            |           |             |  | I               | II | IIA | III |                          |                          |
| P150                        | 517+715         | 0.4        |           |             | De 0 a 0.4 m gravas de caliza, 0.4 m caliza arcillosa compacta                               |                 | 20 |     | 80  | Posteadora y barreta     | Aflora caliza arcillosa  |
| PCA 52                      | 509+365         | 0.1        | 16.7      |             | De 0 a 0.15 m c.v., 0.15 m brecha calcárea formada por clastos de caliza color crema         | 10              |    |     | 90  | Pala y pico              | Planicie                 |
| P151                        | 523+915         | 0.9        |           |             | De 0 a 0.9 m gravas de caliza empacadas en limo café rojizo, 0.9 m caliza arcillosa compacta |                 | 45 |     | 55  | Posteadora y barreta     | Aflora caliza arcillosa  |
| PCA 53                      | 525+665         | 0.3        |           |             |  | 15              |    | 15  | 70  | Pala y pico              | Lomerío suave            |
| P152                        | 527+605         | 0.5        |           |             | De 0 a 0.5 m boleos de caliza empacados, 0.5 m caliza arcillosa dura                         |                 | 25 |     | 75  | Posteadora y barreta     | Lomerío suave            |
| PCA 54                      | 538+295         | 0.4        |           |             | De 0 a 0.3 m c.v., 0.3 a 2 m caliza de textura y presencia de fósiles                        | 15              |    | 15  | 70  | Pala y pico              | Lomerío suave            |
| PCA 55                      | 160+031         | 0.2        | ENTRONQUE |             | De 0 a 0.2 m c.v., 0.2 m caliza fosilífera semidura  | 10              |    |     | 90  | Pico y pala              | Planicie                 |
| P153                        | 158+231         | 0.2        |           |             | De 0 a 0.2 m c.v., 0.2 m caliza fosilífera semidura  |                 | 10 |     | 90  | Pico y pala              | Planicie                 |
| PCA 56                      | 154+616         | 0.2        |           |             | De 0 a 0.2 m c.v., 0.2 m caliza fosilífera semidura  | 10              |    | 10  | 80  | Pico y pala              | Planicie                 |
| PCA 57                      | 151+018         | 0.4        |           |             | De 0 a 0.4 m c.v., 0.4 m caliza fosilífera dura y compacta                                   |                 | 20 | 40  | 40  | Pico y pala              | Lomerío suave            |
| P154                        | 146+690         | 0.1        |           |             | De 0 a 0.1 m boleos, 0.1 m caliza arcillosa dura   |                 |    | 5   | 95  | Posteadora               | Lomerío suave            |
| PCA 58                      | 145+799         | 0.3        |           |             | De 0 a 0.3 m c.v., 0.3 m caliza fosilífera   |                 | 15 | 40  | 45  | Pico y pala              | Lomerío suave            |
| P155                        | 141+377         | 0.5        |           |             | De 0 a 0.5 m arcilla café rojiza, 0.5 m caliza fosilífera gris blanquecina                   |                 | 25 |     | 75  | Posteadora y barreta     | Lomerío suave            |
| P156                        | 138+900         | 0.2        |           |             | De 0 a 0.2 m c.v., 0.2 m caliza arcillosa dura   |                 | 10 |     | 90  | Posteadora y barreta     | Lomerío suave            |
| PCA 59                      | 135+235         | 0.3        |           |             | De 0 a 0.3 m c.v., 0.3 m caliza arcillosa dura y compacta                                    | 15              | 40 | 45  |     | Pico y pala              | Lomerío suave            |
| P157                        | 134+145         | 0.3        |           |             | De 0 a 0.3 m c.v., 0.3 m caliza dura arcillosa   |                 | 15 |     | 85  | Posteadora y barreta     | Lomerío suave            |
| PCA 60                      | 130+207         | 0.3        |           |             | De 0 a 0.3 m c.v., 0.3 m brecha calcárea fosilífera  | 15              | 40 | 45  |     | Pico y pala              | Planicie                 |
| PCA 61                      | 126+057         | 0.5        |           |             | De 0 a 0.5 m c.v., 0.5 m caliza color crema con cristales de calcita                         | 25              | 30 | 45  |     | Pico y pala              | Planicie                 |
| P158                        | 123+186         | 0.2        |           |             | De 0 a 0.2 m c.v., 0.2 m caliza arcillosa gris blanquecina                                   |                 | 10 |     | 90  | Posteadora y barreta     | Lomerío suave de acahual |
| P159                        | 119+420         | 0.2        |           |             | De 0 a 0.2 m c.v., 0.2 m caliza dolomitizada   |                 | 10 |     | 90  | Posteadora y barreta     | Lomerío suave de acahual |
| PCA 62                      | 115+474         | 0.2        |           |             | De 0 a 0.2 m c.v., 0.2 m caliza dolomitizada   |                 | 10 |     | 90  | Posteadora y barreta     | Lomerío suave de acahual |
| PCA 63                      | 110+129         | 0.2        |           |             | De 0 a 0.2 m c.v., 0.2 m caliza fosilífera color gris claro                                  |                 | 10 |     | 90  | Pico y pala              | Planicie                 |
| P160                        | 106+500         | 0.2        |           |             | De 0 a 0.2 m c.v., 0.2 m caliza dolomitizada   |                 | 10 |     | 90  | Posteadora y barreta     | Lomerío suave            |
| P161                        | 104+609         | 0.2        |           |             | De 0 a 0.2 m c.v., 0.2 m caliza arcillosa compacta   |                 | 10 |     | 90  | Posteadora y barreta     | Lomerío suave            |

Justificación del Proyecto.  
Estudios Necesarios. Mecánica de Suelos.

| Nº DE PERFORACIÓN O PCA | CADENA-MIENTO | PROP. m | IV % | N.A.F. m | ESTADÍSTICA   | TIPO DE MATERIAL |    |     |     | HERRAMIENTA UTILIZADA | RELIEVE DEL TERRENO      |
|-------------------------|---------------|---------|------|----------|---|------------------|----|-----|-----|-----------------------|--------------------------|
|                         |               |         |      |          |   | I                | II | III | IV  |                       |                          |
| PCA 64                  | 99+572        | 3       |      |          | De 0 a 0.4 m c.v., 0.4 a 3 m calizas masivas arcillosas en capas duras y alteradas                      |                  | 20 | 80  |     | Corte carretero       | Lomerío suave            |
| PCA 65                  | 96+017        | 0.2     |      |          | De 0 a 0.2 m c.v., 0.2 m caliza color crema   | 10               |    | 90  |     | Pico y pala           | Planicie                 |
| P162                    | 92+104        | 0.6     |      |          | De 0 a 0.6 m limo arcilloso café rojizo, 0.6 m caliza semidura  | 30               | 10 |     | 60  | Posteadora y barreta  | Lomerío suave de acahual |
| P163                    | 90+456        | 0.5     |      |          | De 0 a 0.5 m c.v., 0.5 m caliza dolomitizada dura   | 25               |    |     | 75  | Posteadora y barreta  | Lomerío suave a medio    |
| PCA 66                  | 85+342        | 2.5     |      |          | De 0 a 2.5 m brecha calcárea fosilífera   |                  |    |     | 100 | Banco de material     | Planicie                 |
| PCA 67                  | 81+534        | 0.7     |      |          | De 0 a 0.2 m c.v., 0.2 a 0.7 m caliza arcillosa semicompacta deleznable                                 | 10               | 50 | 40  |     | Pico y pala           | Planicie                 |
| P164                    | 76+878        | 1.5     |      |          | De 0 a 0.4 m c.v., 0.4 m limo arcilloso semicompacto  |                  | 20 | 80  |     | Corte carretero       | Planicie                 |
| P165                    | 73+394        | 0.2     |      |          | De 0 a 0.2 m caliza fosilífera gris dura en estratos de 0.05 a 0.4 m de espesor, 0.2 m caliza dura      |                  | 10 |     | 90  | Posteadora y barreta  | Lomerío suave de acahual |
| PCA 68                  | 70+610        | 0.5     |      |          | De 0 a 0.1 m c.v., 0.1 a 0.5 m caliza arcillosa muy alterada  | 5                | 95 |     |     | Pico y pala           | Lomerío suave de acahual |
| PCA 69                  | 66+237        |         |      |          | Afloramiento de caliza arcillosa dura y compacta  |                  |    |     | 100 | Corte carretero       | Lomerío suave            |
| P166                    | 63+250        | 0.5     |      |          | De 0 a 0.5 m c.v., 0.5 m limo arcilloso duro  |                  | 25 | 65  | 10  | Corte carretero       | Lomerío suave de acahual |
| P167                    | 59+537        | 2       |      |          | De 0 a 0.2 m c.v., 0.2 a 2 m limo arcilloso duro  |                  | 20 | 80  |     | Corte carretero       | Lomerío suave de acahual |
| PCA 70                  | 56+053        | 2       |      |          | Caliza fosilífera con alto contenido de arcilla con bandas de sílice                                    |                  |    |     | 100 | Corte carretero       | Planicie                 |
| P168                    | 52+379        | 2       |      |          | Arcilla dolomitizada dura   |                  |    |     | 100 | Corte carretero       | Lomerío                  |
| PCA 71                  | 48+052        | 2.5     |      |          | Afloramiento de calizas en estratos de 0.05 a 0.1 m de espesor alternando con capas de caliza arcillosa |                  |    |     | 100 | Corte carretero       | Lomerío suave            |
| PCA 72                  | 43+725        | 2       |      |          | De 0 a 0.1 m c.v., 0.1 a 0.3 m arcilla limosa con gravillas, 0.3 a 2 m caliza dura y compacta           | 15               |    |     | 85  | Corte carretero       | Lomerío suave            |
| P169                    | 38+532        | 0.3     |      |          | De 0 a 0.3 m c.v., 0.3 m caliza en estratos de 0.1 a 1 m de espesor compacta y dura                     |                  | 15 |     | 85  | Corte carretero       | Lomerío suave            |
| P170                    | 34+208        | 0.4     |      |          | De 0 a 0.4 m c.v., 0.4 m brechas de caliza  |                  | 20 |     | 80  | Posteadora y barreta  | Lomerío suave y medio    |
| PCA 73                  | 29+010        | 2.5     |      |          | Afloramiento de calizas muy arcillosas deleznales con un estrato de caliza dura de 1 m de espesor       |                  |    | 20  | 80  | Corte carretero       | Planicie                 |

Justificación del Proyecto.  
Estudios Necesarios. Mecánica de Suelos.

| NO. DE PERFORACIÓN<br>O PCA | CADENA-MIENTO  | PROF.<br>m | W<br>% | N.A.P.<br>m | ESTATIGRAFÍA   | TIPO DE MATERIAL |    |     |    | HERRAMIENTA UTILIZADA | RESEVE DEL TERRENO |
|-----------------------------|----------------|------------|--------|-------------|--|------------------|----|-----|----|-----------------------|--------------------|
|                             |                |            |        |             |  | I                | II | III | IV |                       |                    |
| PCA 74                      | 23+680         | 3          |        |             | Afloramiento de calizas dolomitizadas color rosado a blanco muy duras en estratos de 0.1 a 0.2 m , alternando con brechas calcáreas en estratos de 0.2 a 0.5 m |                  | 10 |     | 90 | Corte carretero       | Lomerío suave      |
| P171                        | 22+063         | 0.7        |        |             | De 0 a 0.7 m boleos empacados, 0.7 m caliza suave  |                  | 35 | 20  | 45 | Posteadora y barreta  | Lomerío medio      |
| P172                        | 19+480         | 0.9        |        |             | De 0 a 0.9 m limo arcilloso café rojizo, 0.9 m caliza dura   | 45               |    | 20  | 35 | Posteadora y barreta  | Lomerío suave      |
| PCA 75                      | 12+314         | 0.2        |        |             | De 0 a 0.2 m c.v., 0.2 m brecha calcárea   |                  | 10 |     | 90 | Pico y pala           | Lomerío suave      |
| P173                        | 3+467          | 0.5        |        |             | De 0 a 0.5 m c.v., 0.5 m caliza suave  |                  | 25 | 25  | 50 | Barreta               | Lomerío suave      |
| P174                        | 0+000          | 0.2        |        |             | De 0 a 0.2 m c.v., 0.2 m caliza dolomitizada   |                  | 10 |     | 90 | Barreta               | Lomerío suave      |
| P175                        | CCC Valladolid | 0.1        |        |             | De 0 a 0.1 m c.v., 0.1 m caliza arcillosa dura y carstica  |                  | 5  |     | 95 | Barreta               | Lomerío suave      |

| NO. DE PERFORACIÓN<br>O PCA | CADENA-MIENTO | PROF.<br>m | W<br>% | N.A.P.<br>m | ESTATIGRAFÍA   | TIPO DE MATERIAL |    |     |     | HERRAMIENTA UTILIZADA | RESEVE DEL TERRENO |
|-----------------------------|---------------|------------|--------|-------------|--|------------------|----|-----|-----|-----------------------|--------------------|
|                             |               |            |        |             |  | I                | II | III | IV  |                       |                    |
| PA                          | 5+150         | 0.4        |        |             | De 0 a 0.4 m c.v., 0.4 m caliza arcillosa dura                                 |                  |    | 20  | 80  | Barreta               | Lomerío suave      |
| PB                          | 7+000         | 0.4        |        |             | De 0 a 0.4 m boleos de caliza en matriz limosa, 0.4 m caliza dolomitizada dura |                  |    | 20  | 80  | Barreta               | Lomerío suave      |
| PC                          | 11+070        | 0.3        |        |             | De 0 a 0.3 m c.v., 0.3 m caliza fosilífera arcillosa                           |                  |    | 15  | 85  | Barreta               | Lomerío suave      |
| PD                          | 14+720        | 0.1        |        |             | De 0 a 0.1 m c.v., 0.1 m caliza fosilífera arcillosa                           |                  |    | 15  | 85  | Barreta               | Lomerío suave      |
| PE                          | 17+020        |            |        |             | Caliza arcillosa compacta superficialmente                                     |                  |    |     | 100 | Barreta               | Lomerío suave      |

### **2.4.3 IMPACTO AMBIENTAL.**

Con el objeto de cumplir con las disposiciones de los reglamentos ambientales, se tendrá que llevar a cabo un estudio de riesgo ambiental para el sistema, este estudio deberá contemplar:

- La identificación de los posibles tipos de fallas y las posibles frecuencias.
- Valorar el tipo y frecuencia de estas fallas valiéndose de cualquier información pertinente.

Los tipos de fallas deben de clasificarse, considerando, tanto los daños de equipo, como los daños que van desde pequeñas fisuras hasta ruptura completa del ducto, y se deberá tomar siempre en cuenta a la población cercana del ducto.

Se entregará al INE el Estudio de Riesgo para su evaluación, con el compromiso de acatar las recomendaciones que se fijen en la resolución de la Manifestación de Impacto Ambiental y del Estudio de Riesgo.

Para la protección del medio ambiente tomaremos las siguientes pautas estándar.

#### *PAUTAS ESTÁNDAR DE REDUCCIÓN DE LOS EFECTOS DE LA CONSTRUCCIÓN SOBRE LOS RECURSOS AMBIENTALES.*

##### **I. USO Y CALIDAD DEL AGUA**

- Cuando sea posible, la construcción en vías de drenaje intermitente o efímero ocurrirá durante los períodos de secos o de bajo flujo, reduciendo lo más posible el transporte de sedimentos.

- El rellenado de arroyos se realizará lentamente para reducir al mínimo la agitación y carga de sedimentos, proporcionando un relleno de buena calidad para colocarse en los arroyos.
- El agua utilizada en las pruebas hidrostática de la tubería se obtendrá de pozos y/o estanques existentes aprobados por la Comisión Nacional del Medio Ambiente y se descargarán de acuerdo a las mismas especificaciones, esta agua se rehusará cuando sea posible.
- Las medidas de reducción de efectos en las orillas de arroyos perturbados de áreas ribereñas consistirán en reemplazar la tierra vegetal y replantar especies ribereñas oriundas, Cuando sea necesario, los cruces de arroyos se cercarán para asegurar la restauración del hábitat.
- Se instalarán diques provisionales o tapones para zanjas, a modo de reducir al mínimo la posibilidad de acaparamiento a lo largo de la tubería que se tendrá cuando el agua subterránea se filtra hacia la zanja rellanada.
- Los manantiales que sirvan de fuentes de suministro de agua o que son para la fauna, se identificarán, se realizará una evaluación de efectos potenciales y se tomarán medidas de mitigación.

## II. FLORA Y FAUNA

- Se diseñarán planes de restauración vegetal para sitios específicos, estos planes incluirán información de posibles reemplazos de la tierra vegetal, preparación de las camas de siembra, cobertura del suelo, fertilización, mezclas de semillas conteniendo especies oriundas, control de malezas perjudiciales y control adicional de la erosión.
- Durante la construcción en áreas sensibles, se despejará el ancho de derecho de vía mínimo posible para reducir al mínimo el daño.



- La longitud y duración de las zanjas abiertas se mantendrá en lo mínimo que sea factible. El límite de la longitud y duración de las zanjas en áreas de especies sensibles será específico para el sitio y para la especie.

### III. RECURSOS CULTURALES

- Generalmente se requiere preservar y reducir el efecto de los impactos a recursos arqueológicos e históricos significativos identificados en los estudios preliminares.
- Deberá de darse consideración a un programa de observación de actividades de perturbación del terreno en áreas donde los inventarios de recursos culturales indican la posibilidad de que recursos no evidentes en la superficie estén enterrados. Se pondrá en práctica un procedimiento "descubrimiento de emergencia" que consistirá en suspender los trabajos en las proximidades del descubrimiento para evaluar la importancia del mismo, notificando a las autoridades apropiadas cuando sea necesario.

### IV. ASPECTOS SOCIOECONÓMICOS

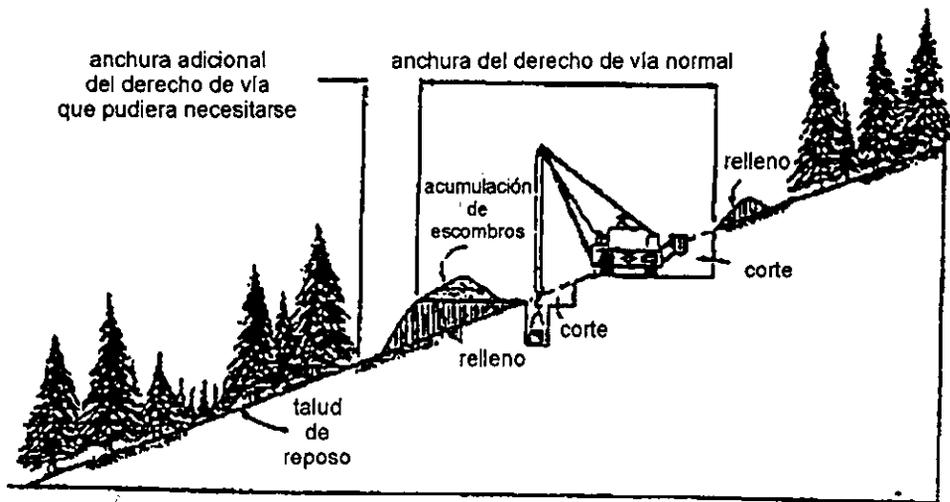
- No se anticipa ningún efecto adverso significativo a instalaciones y servicios públicos con la afluencia de los trabajadores de construcción de la tubería. El tendido de la tubería produce muy pocos residuos sólidos ya que todos los materiales principales, son completamente incorporados al sistema. Los trabajadores producen cantidades pequeñas de residuos de papel y restos de varilla de soldadura; dichos residuos estarán colocados en basureros portátiles.
- En general los cambios socioeconómicos no serán significativos, ya que los cambios en la población serán temporales, presentando así un efecto benéfico para las economías locales.

## V. RECURSOS GEOLÓGICOS

- Los impactos a los depósitos geológicos superficiales no podrán evitarse en la construcción de las zanjas de la tubería. Donde sea especificado por las agencias de control de terrenos, podrían tomarse medidas especiales de restauración topográfica, tal como la reconstrucción de lomas. Se conducirá con el cuidado correspondiente para evitar daños a cualquier área sensible, estructura, pozos o manantiales identificados en los estudios preliminares.

## VI.USO, RECREACIÓN Y ESTÉTICA DEL TERRENO.

- Los impactos del uso del terreno se evaluarán a corto y largo plazo. Los de corto plazo consistirán en acciones que sólo existirán desde el comienzo de la construcción hasta no más de un año. Los de largo plazo tienen el potencial de afectar el uso del terreno existente durante más de un año y durante la vida del proyecto. Los impactos del uso del terreno también se evalúan de acuerdo al grado de conflicto entre la ruta y los usos del terreno.
- Los caminos existentes y el derecho de vía se usarán como acceso para limitar la cantidad de nuevas perturbaciones. Donde se requiera actualización, se tomarán medidas para proteger los recursos del suelo, agua, flora y fauna, incluyendo la realización de estudios culturales y de especies en peligro de extinción, y la aplicación de medidas de reducción de efectos apropiados.
- La fase final de construcción de la tubería involucrará la limpieza y restauración del derecho de vía. Este se limpiará removiendo y descartando los residuos de construcción y los materiales excedentes.



### EXCAVACIÓN Y NIVELACIÓN DEL DERECHO DE VÍA

#### VII.CALIDAD DEL AIRE Y NIVEL DE RUIDO.

- Los impactos a la calidad del aire asociados con la construcción no se cuantifican explícitamente, ya que las emisiones serán temporales y no afectarán la calidad del aire ambiental a largo plazo.
- En las localidades remotas de rutas de tubería y nuevo derecho de vía, típicamente se anticipa que los niveles de ruido ambiental en las regiones del proyecto serán bajos. La construcción de la tubería podría causar aumentos temporales localizados en los niveles de ruido.
- En las localidades seleccionadas a lo largo del derecho de vía propuesto, podría requerirse una dinamitación controlada para fracturar formaciones de

rocas duras. La dinamitación se realizará durante las horas diurnas para reducir posibles perturbaciones.

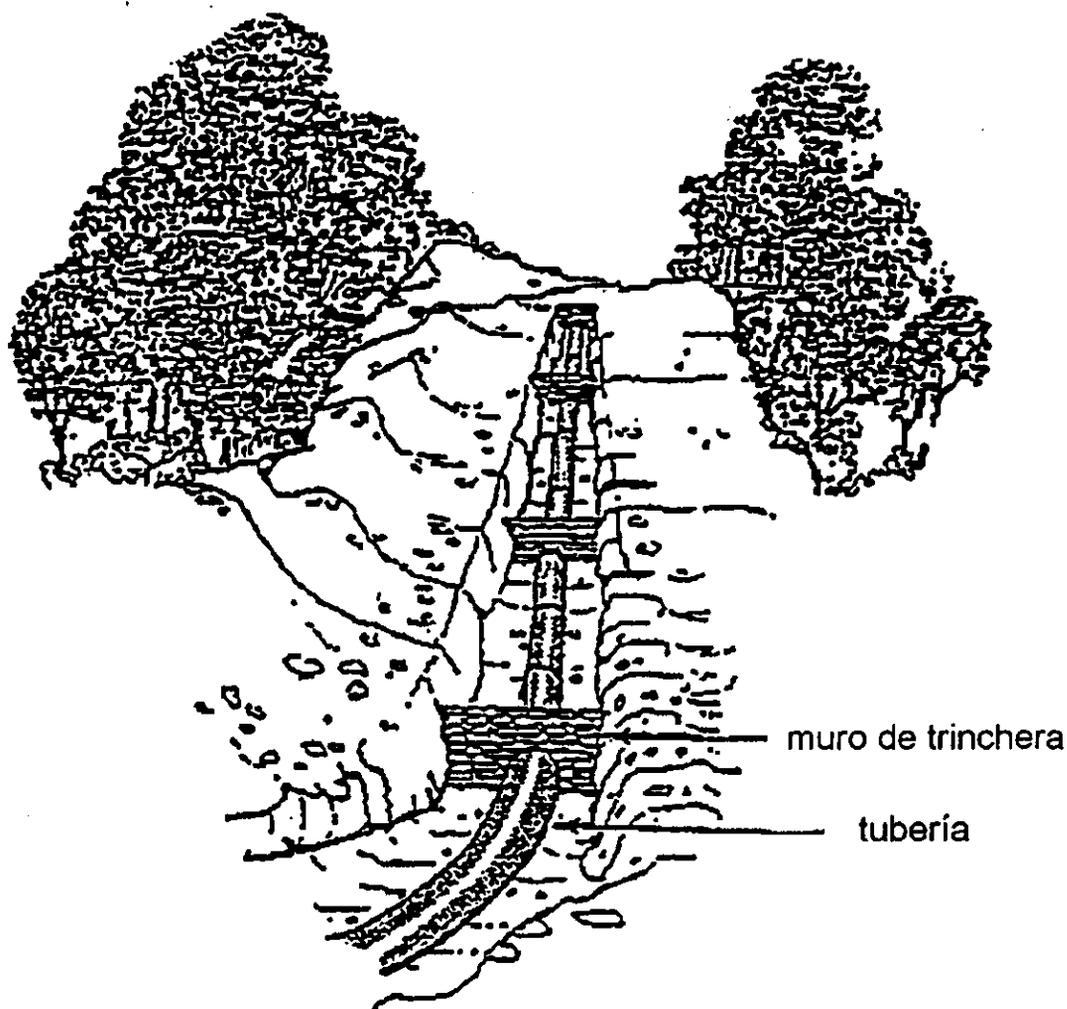
*PROCEDIMIENTOS ESTÁNDAR DE CRUCES DE ARROYOS Y TIERRAS PANTANOSAS.*

- Deberán tomarse medidas protectoras para asegurar que el flujo del arroyo no se detenga, de modo de proteger la vida acuática y permitir usar el agua corriente abajo. Si la actividad de construcción hace que el flujo del arroyo quede expuesto a los suelo perturbados, se instalará una cerca contra el escurrimiento en el lado corriente a bajo del desvío para evitar que el arroyo sea cargado con una cantidad excesiva de sedimentos.
- Si el canal del arroyo activo es  $\leq 5$  m de ancho, y el trabajo con equipo en el canal no sobrepasará 24 horas, el equipo de construcción puede cruzar el arroyo activo sin necesidad de puentes para equipo
- Si el canal del arroyo activo es  $> 5$  m de ancho, el equipo que cruce el arroyo utilizará, (a) plataformas para equipo y alcantarillas, (b) escollera limpia y alcantarilla, con un flotador flexible o puente portátil
- Si las pendientes adyacentes al canal del arroyo son iguales o superiores a un gradiente del 5% se requiere instalar escantillones desviadores una vez completada la construcción espaciados de la siguiente manera:

REQUERIMIENTOS DE ESPACIAMIENTO DE LOS CABALLONES DESVIADORES

| % de Pendiente | Espaciamiento de los caballones desviadores (m) |
|----------------|---|
| 5 - 15         | 100   |
| 15 - 30        | 75  |
| > 30           | 50  |

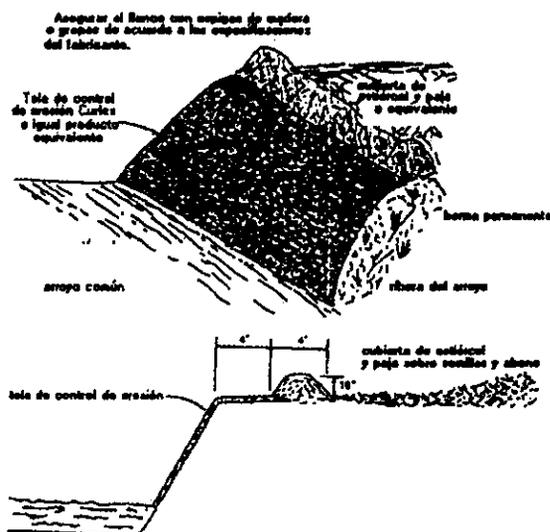
- En el caso de pendientes (5% adyacentes al canal del arroyo), se instalarán rompezanjas para eliminar el acanalamiento futuro del agua de escurrimiento por la zanja.
- Una vez finalizada la construcción, se requiere estabilizar y revegetear las orillas de lo arroyos perturbado, las orillas se restaurarán a la densidad y diversidad de plantas anteriores a la construcción, empleando vegetación oriunda lo más posible.



PRESAS DE TRINCHERA

*PROCEDIMIENTOS ESTÁNDAR DE CONTROL DE LA EROSIÓN Y DE RESTAURACIÓN VEGETAL.*

- Todos los cruces de caminos y puntos de acceso se protegerán contra los surcos y arrastre de suelos empleando plataformas de piedra molida, esteras, o instalaciones de alcantarillas.
- Durante las temporadas en que es posible que llueva, si se va a perturbar la vegetación adyacente a cruces de caminos pavimentados, utilice cercas contra el escurrimiento y/o fardos de heno apilados en la base de las pendientes adyacentes a los caminos, donde el arrastre de la lluvia pudiese empujar sedimentos sobre el camino.
- No se utilice tierra vegetal como relleno de rompezanjas o de tierra. Se requerirá instalar rompependientes (caballones desviadores) permanentes (ver tabla anterior).
- Los caballones desviadores se instalarán en un pendiente hacia afuera de 2-8% dirigida a pedregales, estanques de drenaje pequeños, u otros dispositivos de disipación de energía apropiados al borde del derecho de vía.



#### **2.4.4 DISEÑO.**

El diseño del sistema que se propone consiste en los siguiente puntos:

- Un gasoducto de aproximadamente un total de 693.1 kilómetros de gasoducto en la línea principal, con 457 a 600 mm de diámetro exterior (NPS 18 a NPS 26), con aproximadamente 27.71 kilómetros de línea secundaria de 219 a 406 mm de diámetro exterior (NPS 8 a NPS 16) conectando la línea principal a los puntos de entrega.
- Una estación automatizada de compresores situada en el kilómetro 33.13.
- Estaciones automatizadas de medición en el punto de recibo en Ciudad Pemex y en los puntos de entrega Lerma, Mérida II, Nachicocom, Valladolid de Vapor, Valladolid de Ciclo Combinado, Campeche Futuro, Mérida III Futuro y Valladolid II Futuro.
- Un sistema de computo integrado en un centro de control de operaciones atendido continuamente.

#### **1. TUBERÍA:**

La configuración de los tubos se basa en una máxima permisible presión de operación (MPPO) variable para así satisfacer más económicamente los requerimientos del diseño. Con la ayuda de tres Válvulas de Línea Principal (VLP) con controladores limitadores de presión controlarán la presión de los segmentos en caso de que se tenga la presencia de una condición anormal que exceda la MPPO, estas válvulas limitadoras de presión de la línea principal pueden llegar a cerrarse en caso de tener una emergencia.

La presencia de otras tres VLP adicionales de operación remota se colocarán estratégicamente para dar aislamiento inmediato en caso de emergencia.

El gasoducto se diseñará y será operado de modo de mantener la línea suficiente para suministrar 100% de la cantidad diaria máxima, y además proporcionará el suficiente espacio para aceptar el 5% de la cantidad diaria máxima en caso de presentarse un sobreabastecimiento.

| VLP# | UBICACIÓN | TIPO   |
|------|-----------|--|
| 7    | 169.80    | VLP limitadora de presión Campeche               |
| 11   | 296.40    | VLP de operación remota Champoton-Campeche       |
| 13   | 359.49    | VLP limitadora de presión Lerma                  |
| 18   | 514.63    | VLP corriente arriba de activación remota Mérida |
| 19   | 532.18    | VLP limitadora de presión Mérida                 |
| 20   | 560.20    | VLP corriente abajo de operación remota Mérida   |

UBICACIÓN DE LAS VLP Y DE OPERACIÓN REMOTA

## 2. ESTACIÓN DE COMPRESORES

El sitio idóneo para la estación de compresores (km 33.13) se seleccionará por las siguientes razones:

- Reducir al mínimo el impacto de irregularidades en Cd. Pemex. Los 33.13 km de tubo de 660 mm (NPS 26) actuarán como si fueran un amortiguador para el sistema, dando a la estación de compresores tiempo para reaccionar a los cambios repentinos de suministro.
- Permitir una configuración del sistema con una estación única de compresores y una presión de operación máxima de 9,990 kPa, en base a una temperatura máxima de flujo de gas de 49°C.
- El sitio tiene fácil acceso desde Villahermosa por la carretera 186, contando por ello con servicios en las cercanías.

La estación de compresores se diseña para operar con un mínimo número de personal, llegando a poder ser controlada desde el centro de control de operaciones, sólo se puede contar con una vigilancia continua para evitar el acceso sin autorización.

Las ventajas que se tendrán al diseñarse el sistema con una sola estación de compresores son:

- Reducir al mínimo la complejidad y el número de componentes mecánicos, para satisfacer los requerimientos de disponibilidad.
- Reduce el número de sitios operacionales para reducir los costos de operación y mantenimiento.
- Reduce el impacto ambiental.
- Reduce las instalaciones en la superficie.
- Reduce al mínimo las emisiones de NO<sub>x</sub> y CO<sub>2</sub> debido a un diseño con mayor cantidad de tubería.

La configuración de la estación de compresión constara de:

- 2 unidades operacionales y una de reserva hasta el año 2005.
- 3 unidades operacionales y una de reserva del año 2005 hasta el año 2009.
- 4 unidades operacionales y una de reserva del año 2009 hasta el año 2026.

### 3. ESTACIONES DE RECIBO Y ENTREGA

Se tendrá una sola estación de recibo situada en Ciudad Pemex, donde se realizará la separación de líquidos, observación de la calidad de gas, medición electrónica de gas y control de flujo para asegurar una óptima operación segura y eficiente.

Las estaciones de entrega tendrán filtración (si se requiere), calentamiento de gas, reducción de presión, protección contra la sobrepresión y medición electrónica de gas, constará de un paro de emergencia. Las estaciones de entrega estarán situadas en los siguiente puntos de entrega.

| Centrales existentes          | Centrales futuras |
|-------------------------------|-------------------|
| Lerma                         | Campeche          |
| Mérida II                     | Mérida III        |
| Nachicocom                    | Valladolid        |
| Valladolid de Vapor           |                   |
| Valladolid de Ciclo Combinado |                   |

CENTRALES DE ENTREGA DE LAS CENTRALES GENERADORAS

#### 4. ALMACENES

Se tendrán materiales y partes para el mantenimiento de rutina, para reparaciones y operaciones (MRO) y repuestos críticos para asegurar la disponibilidad, contará con los repuestos de turbinas y compresores, para dar servicio al sistema, dividiéndose uno por la estación de compresores para el tramo de Cd. Pemex hasta la VLP#10, y otro desde la VLP a Valladolid.

#### 5. CENTRO DE CONTROL DE OPERACIONES

El sistema de control tendrá a su cargo el monitoreo y control remoto del gasoducto. Consiste en unidades remotas en la estación de compresores, estación de recepción y en las de entrega, válvulas de línea principal (VLP) limitadoras de presión y estratégicas de operación remota, estas unidades remotas realizan la función de control y adquisición de datos en los sitios, se observa, analiza y archivan los datos.

Sus funciones principales serán:

- Adquisición de datos.
- Control de supervisión.
- Control de puntos de ajuste de presión/flujo.
- Apoyo hombre-máquina.
- Observación y notificación de alarmas y eventos.
- Generación de informes.

- Procesamiento y almacenaje de datos históricos.
- Tendencias históricas y de datos actuales.
- Acumulación de flujo.

El equipo de la estación de control será de una red de computadoras operando bajo un sistema operativo UNIX. La configuración y las presentaciones en pantalla serán por medio de gráficos y textos de fácil uso siendo posible la modificación del sistema.

Se instalará un sistema contra incendios y se instalarán generadores de energía eléctrica de reserva en donde esta será ininterrumpida por los trabajos continuos de instrumentación del equipo.

### 3. CONSTRUCCIÓN DEL PROYECTO

#### 3.1 LÍNEA DE CONDUCCIÓN

El gasoducto estará diseñado para una temperatura de operación continua máxima de 49°C, teniendo las siguientes presiones de operación máximas permisibles (MPPO).

| SEGMENTO  | DESDE<br>km | A<br>km | MPPO<br>(kPa g) |
|---|-------------|---------|-----------------|
| Desde Cd Pemex a la estación de compresores                                 | 0.0         | 33.13   | 6.895           |
| Desde la estación de compresores a la estación de entrega Campeche          | 33.1        | 169.80  | 9.990           |
| Desde la estación de entrega Lerma  | 169.8       | 359.49  | 8.965           |
| Desde la estación de entrega Lerma a las estacione de entrega Mérida II/III | 359.49      | 532.18  | 8.050           |
| Desde las estaciones de entrega Mérida II/III al final de la línea          | 532.18      | 693.1   | 6.920           |

MPPO DE LOS SEGMENTOS DEL GASODUCTO

Las instalaciones de trampas de diablo se utilizarán para la inspección del gasoducto con diablos inteligentes, que se utilizará también para la limpieza ocasional del segmento entre Cd. Pemex y la estación de compresores.

| Km    | DESCRIPCIÓN  |
|-------|--|
| 0.0   | Lanzador de diablo de 762 mm (NPS 30) en Cd Pemex.   |
| 33.1  | Recibidor de diablo de 762 mm (NPS 30)/ lanzador de diablo de 762 mm (NPS30) en la estación de compresores.            |
| 169.8 | Recibidor de diablo de 762 mm (NPS 30)/lanzador de diablo de 762 mm (NPS 30) corriente abajo de Campeche.              |
| 359.5 | Recibidor de diablo de 762 mm (NPS 30)/ lanzador de diablo de 762 mm (NPS 30) corriente abajo de la lateral Lerma.     |
| 532.2 | Recibidor de diablo de 762 mm (NPS 30)/ lanzador de diablo de 610 mm (NPS 24) corriente abajo de Mérida II/III lateral |
| 693.1 | Recibidor de diablo de 610 mm (NPS 24) en Valladolid   |

UBICACIÓN DE LAS INSTALACIONES DE TRAMPAS DE DIABLO DE LA LÍNEA PRINCIPAL

La configuración de los tubos se basa en una MPPO variable bajo consideración de manera que cumpla con los requerimientos de diseño en la forma más económica. Se instalarán válvulas de la línea principal (VLP) limitadoras de presión en todos los sitios donde se produzca un cambio de MPPO.

Bajo condiciones de operación anormales con posibilidad de producir una presión de segmento superior a esta la VLP limitadora de presión se cerrará y un desvío conteniendo una válvula de control de presión y un monitor mantendrá la presión igual a la MPPO, asegurándose que la presión no exceda 104% de la MPPO durante las condiciones anormales.

Todo el revestimiento aplicado a los tubos en la planta será Epóxico Fijado por Fusión (EFF), las áreas sujetas a la inundación podrán revestirse con 3 capas de polietileno. Las juntas de campo se revestirán con EFF, epóxico de dos partes, o manga termocontraída.

Algunas de las áreas a lo largo del gasoducto están sujetas a inundaciones, por lo que el revestimiento anticorrosivo externo de los tubos será inspeccionado cuidadosamente para detectar áreas pasadas por alto, antes de instalar el revestimiento de concreto, la mezcla de concreto de diseño utilizada para el lastre se someterá a pruebas de resistencia a la compresión y de densidad para asegurar su buena calidad.

Se contará con un levantamiento de la tubería y accesorios captando las siguientes características como mínimo:

- Diámetro y cambios del espesor de pared
- Conductores de prueba (estaciones, tipo y número de alambres)
- Lugares de zanja con profundidad extra
- Tipo y grado de la tubería
- Piezas de transición
- Números de identificación de prueba no destructiva (NDT)
- Puntos topográficos de referencia permanente establecidos antes de la construcción

- Válvulas e instalaciones de trampas de tacos de limpieza
- Caminos de acceso

Para abastecer el suministro de gas requerido tomaremos en cuenta que la presión de entrada de a la estación de recepción es el valor mínimo, y la temperatura de entrada del gas es la máxima, tomando a la velocidad como un valor constante, los perfiles de consumo promedio son las demandas horarias del día para cada estación de entrega. (Apéndice).

| PUNTO DE RECEPCIÓN    | CANTIDAD MÁXIMA DE GAS DIARIO<br>MMm <sup>3</sup> /D | PRESIÓN DE ENTREGA<br>KG/CM <sup>2</sup> | TEMPERATURA DE ENTREGA °C              |
|-----------------------|--|--|--|
| Ciudad Pemex, Tabasco | 10.41  | Mínimo: 50<br>Normal: 55<br>Máxima: 70   | Mínimo: 10<br>Normal: 30<br>Máxima: 38 |

TABLA DE CARACTERÍSTICAS DE LA ESTACIÓN DE RECEPCIÓN

Para el diseño de la tubería nos apoyaremos también en programas de computadora que manejará, la correlación generalizada del factor z del gas natural (SAREM) y la fórmula de Colebrook para las pérdidas por fricción

Los parámetros necesarios tomados en cuenta para el análisis del diseño de la tubería son:

- Coeficiente de transferencia de calor  $U = 4.49 \text{ kJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C})$
- Aspereza de la tubería,  $\text{ROUGH} = 25.4 \text{ } \mu\text{m}$
- Temperatura del gas,  $\text{TEMP} = 38^\circ\text{C}$
- Temperatura ambiente,  $\text{ATEMP} = 37.8^\circ\text{C}$
- Eficiencia del gasoducto  $\text{EFF} = 98\%$
- Temperatura de referencia,  $\text{TBASE} = 20^\circ\text{C}$
- Presión de referencia,  $\text{PBASE} = 0.981 \text{ bar a}$
- Gravedad específica,  $\text{SG} = 0.606$

- Valor calorífico, HV = 35.40\*10<sup>6</sup> J/m<sup>6</sup>
- Presión en la estación de recepción = 49.03 bar g
- Temperatura en la estación de recepción = 38°C
- Temperatura del suelo = 29.4 °C
- Caída de presión de la estación de recepción = 1.03 bar
- Caída de presión de la estación de entrega = 0.69 bar (sin calentadores)/1.03 bar (con calentadores)

La tabla siguiente enumera las características de las tuberías del gasoducto.

| DESDE<br>KM | HASTA<br>KM | LARGO<br>(M) | D.E.<br>(MM/NPS) | ESP. PARED<br>(MM/PULG) | GRADO | TIPO     |
|-------------|-------------|--------------|------------------|-------------------------|-------|----------|
| 0.0         | 33.1        | 15876        | 660/26           | 6.4/0.250               | X-65  | DSAW/ERW |
|             |             | 8298         | 660/26           | 7.9/0.312               | X-70  | DSAW/ERW |
|             |             | 8960         | 660/26           | 9.5/0.375               | X-70  | DSAW/ERW |
| 31.1        | 169.8       | 77320        | 610/24           | 7.9/0.312               | X-70  | ERW      |
|             |             | 50430        | 610/24           | 8.9/0.350               | X-70  | ERW      |
|             |             | 3300         | 610/24           | 11.1/0.437              | X-70  | ERW      |
|             |             | 5620         | 610/24           | 12.7/0.500              | X-70  | ERW      |
| 169.8       | 359.5       | 133024       | 610/24           | 7.1/0.280               | X-70  | ERW      |
|             |             | 33256        | 610/24           | 7.9/0.312               | X-70  | ERW      |
|             |             | 20000        | 610/24           | 8.9/0.350               | X-70  | ERW      |
|             |             | 3410         | 610/24           | 10.3/0.406              | X-70  | ERW      |
| 359.5       | 532.2       | 120544       | 610/24           | 6.4/0.250               | X-70  | ERW      |
|             |             | 30136        | 610/24           | 7.1/0.280               | X-70  | ERW      |
|             |             | 11320        | 610/24           | 8.9/0.350               | X-70  | ERW      |
|             |             | 10690        | 610/24           | 11.1/0.437              | X-70  | ERW      |
| 532.2       | 693.1       | 124816       | 457/18           | 4.8/0.188               | X-70  | ERW      |
|             |             | 31204        | 457/18           | 5.6/0.219               | X-70  | ERW      |
|             |             | 4900         | 457/18           | 7.9/0.312               | X-70  | ERW      |

#### RAMALES

| DESDE UN. PRINC. A: | LARGO<br>(M) | D.E.<br>(MM/NPS) | ESP. PARED<br>(MM/PULG) | GRADO | TIPO |
|---------------------|--------------|------------------|-------------------------|-------|------|
| Campeche            | 1610         | 219/8            | 6.4/0.250               | X-52  | ERW  |
| Lerma               | 1940         | 219/8            | 6.4/0.250               | X-52  | ERW  |
| Mérida II/III       | 3380         | 406/16           | 7.9/0.312               | X-60  | ERW  |
| Mérida II           | 3220         | 324/12           | 6.4/0.250               | X-60  | ERW  |
| Nachicocom          | 17064        | 219/8            | 4.8/0.188               | X-52  | ERW  |

#### CARACTERÍSTICAS DE LAS TUBERÍAS PARA EL GASODUCTO

Se harán todos los doblado en frío requeridos para la colocación de las tuberías de acuerdo con los requerimientos de recubrimiento mínimos.

Los doblados deben hacerse de modo que el tubo, cuando se coloque, esté apoyado en el fondo de la zanja, sin el uso de la fuerza externa para sostenerlo en el lugar. Los doblados de perfil cóncavo deben descansar sobre el fondo de la zanja mientras que los doblados de perfil convexo no deben tocar el fondo de la zanja en el punto alto, en los sitios de válvulas y cruces se prestará más atención y cuidado.

Los doblados deben hacerse por método de estirar en frío usando una máquina de doblar equipada con zapatas de doblar acolchonadas, no permitiéndose los codos formados por segmentos, las máquinas tendrán zapatas de doblar superior e inferiores acolchonadas y rodillos impulsores acolchonados.

Un mínimo de 1.8 metros de tubo recto debe dejarse en los extremos de las juntas de tubos doblados. Los tubos que sean de sección doble no deben doblarse a una distancia de un diámetro de la soldadura de sección doble, los doblados que muestren arrugas, deformaciones, puntos planos o excesiva ovalidad deberán rechazarse.

Los hornos a utilizar deben ser del tipo de control de temperatura exacta y de tamaños suficientes para facilitar el secado uniforme de los electrodos. Sólo los materiales que estén identificados por clasificación de tipo, tamaño y número de código de referencia se usarán en la producción de soldaduras.

Los diferentes grados de electrodos deben separarse, los electrodos se deben almacenar, secar y mantener secos para usarlos. Los electrodos en recipientes abiertos deben protegerse de los cambios excesivos de humedad, los electrodos, alambres de metal de aportación y fundentes que muestren señales de daño o deterioro no deben usarse.

Las condiciones de soldadura reales, es decir, la corriente, voltaje del arco, velocidad de avance, técnica de soldadura, intervalo de tiempo entre pasadas, etc, se deben anotar en un registro de calificación de soldadura.

La soldadura depositadas debe estar sin grietas y otras fallas de deposición dentro de los límites aplicados. Los perfiles irregulares de soldadura que tengan un cambio de sección aguda fuera de los requerimientos de la especificación se deben alisar de modo que se haga una transición suavemente con el metal de soldadura asociado o cuerpo original.

Todas las marcas de formar arco en la superficie del tubo/accesorio deben quitarse completamente sin reducir el espesor de pared que queda a menos del espesor mínimo requerido por las tolerancias de la especificación del tubo. Si la picadura formada por arco no se puede quitar esmerilando, debe cortarse un cilindro total de tubo que contenga el defecto completo.

Todas las imperfecciones de deben quitar sólo esmerilando a metal sólido limpio, en el caso de que se descubran laminaciones, extremos partidos o defectos de costuras longitudinales descubiertas en el tubo, toda la junta que contenga el defecto será removida de la línea, un procedimiento de reparación de soldadura calificado y separado, con precalentado si se requiere, debe usarse para la reparación de defectos de soldadura.

Se realizará una inspección visual en todas las soldaduras para verificar si tienen grietas, quemado a través, inclusión de escoria, indentación marginal,

casquete cóncavo, etc. Cualquier imperfección descubierta debe repararse inmediatamente, es decir, antes de radiografiar, debiéndose radiografiar el 100% de la circunferencia de todas las soldaduras.

Se requerirán pruebas con líquidos penetrantes, detección de grietas con partículas magnéticas o examen ultrasónico de cualquier soldadura debe llevarse a cabo para asistir en la interpretación de defectos posibles y en la evaluación de la calidad de la soldadura, las pruebas no destructivas a realizar:

- Pruebas para laminaciones en el extremo del tubo cortado.
- Pruebas para laminaciones en cualquier áreas donde soldase una conexión o accesorio, en las soldaduras de filete para todas esas conexiones.

La zanja que contiene el tubo debe rellenarse de manera a impedir daños al tubo y al revestimiento. El relleno debe hacerse tan pronto como sea posible después de la operación de bajado a fin de anclar el tubo.

La colocación del relleno alrededor del tubo hasta un nivel de 300 mm sobre el tope del tubo debe consistir solamente de material de grano fino como arena, arcilla o limo. Si el material excavado es predominantemente de grano fino con pocos pedazos de rocas o cascajos, el mismo puede usarse para el relleno con tal que se usen técnicas selectivas para rellenar alrededor del tubo permitiendo que solo el material fino esté en contacto con el tubo y por altura de 300 mm arriba del tubo, la zanja debe dejarse con un bombeo de 0.16 metros de altura.

## **PROTECCIÓN CONTRA LA CORROSIÓN**

El diseño de protección catódica (PC) proporcionará un sistema de ánodos de sacrificio para los segmentos de tubería expuestos a ambientes de suelos agresivos durante toda la vida de servicio del gasoducto. El sistema de revestimiento y el sistema de protección catódica funcionarán juntos para lograr un control de la corrosión.

Se utilizarán los siguientes sistemas de revestimiento en el gasoducto:

- Aplicado a los tubos en la planta: Epóxica fijada por fusión (ELF) o polietileno de tres capas.
- Aplicado en el campo a las juntas de campo: Epóxica fijada por fusión (ELF).
- Válvulas y accesorios subterráneos: Uretano de alquitrán de hulla (Protegol).
- Revestimiento de la perforación angular: Concreto polimérico (Powercrete) o uretano de alquitrán de hulla (Protegol).

Un sistema de ánodos de sacrificio interino ofrecerá protección durante la fase de construcción del gasoducto, el sistema de protección catódica interina se instalara en áreas donde las resistividades del suelo son inferiores a  $2,000\Omega\cdot\text{cm}$ ; siendo así que las áreas con índice de corrosividad alta o muy alta están correlacionadas con resistividades del suelo inferiores a  $2,000\Omega\cdot\text{cm}$ .

| CADENAJE    | CLASIFICACIÓN |
|-------------|---------------|
| 17.1 - 18.0 | Alta          |
| 48.2 - 49.0 | Alta          |
| 55.6 - 56.9 | Alta          |
| 281 - 289   | Alta          |
| 289 - 296   | Muy alta      |
| 296 - 302   | Alta          |
| 316 - 321   | Alta          |
| 321 - 327   | Muy alta      |
| 327 - 333   | Alta          |
| 595 - 600   | Alta          |

IDENTIFICACIÓN DE ÁREAS DE CORROSIVIDAD

El sistema de ánodos de sacrificio consistirá en ánodos de magnesio (ánodos Mg) de 8 kg en paralelo (2 m de espaciamiento) espaciados uniformemente a lo largo de las secciones de la tubería para asegurar un valor de protección mínimo de 850 mV contra un electrodo de referencia de Cu/CuSO<sub>4</sub> .

El sistema de corriente impresa permanente proporcionará protección contra la corrosión para el gasoducto durante toda la vida de servicio del sistema, se proponen aproximadamente 13 lechos profundos de puesta a tierra de ánodos con rectificadores de 35 VCC y 35 A para proporcionar un buen esparcimiento de la corriente al gasoducto completo.

| ESTACIONES DE PROTECCION CATODICA -# | UBICACION (km) |
|--------------------------------------|----------------|
| 1                                    | 33.13          |
| 2                                    | 65.30          |
| 3                                    | 132.40         |
| 4                                    | 200.60         |
| 5                                    | 264.40         |
| 6                                    | 296.40         |
| 7                                    | 328.40         |
| 8                                    | 390.50         |
| 9                                    | 460.50         |
| 10                                   | 530.85         |
| 11                                   | 592.20         |
| 12                                   | 656.00         |
| 13                                   | 692.90         |

ESTACIONES DE PROTECCIÓN CATODICA EN BASE  
A LOS DATOS DE RESISTIVIDAD DEL SUELO

Si se tuviera el caso de que se cruzara el gasoducto con una tubería extraña, se instalarán ánodos de sacrificio, su número se determinará de acuerdo a las características de la tubería extraña.

Se contarán con estaciones de prueba cada 1.5 km, lo que incluye caminos de acceso público, cruces de ferrocarril, canales y cruces de tuberías, contando con un número estimado de 461.

El aislamiento eléctrico del gasoducto principal se logrará utilizando juntas de aislamiento monolíticas en la estación de recepción, en la de compresores y en todas las estaciones de entrega. Se incluirán desviadores de variaciones repentinas de tensión para proteger el equipo de las instalaciones contra las sobretensiones.

| UBICACIÓN                       | NUMERO DE JUNTAS DE AISLAMIENTO MONOLITICAS |
|---------------------------------|---|
| Estación de recibo              | 2   |
| Estación de compresores         | 2   |
| Estación de entrega Campeche II | 1   |
| Estación de entrega Lerma       | 1   |
| Estación de entrega Mérida II   | 1   |
| Estación de entrega Mérida III  | 1   |
| Estación de entrega Nachicom    | 1   |
| Estación de entrega Valladolid  | 3   |

UBICACIÓN Y CANTIDAD DE JUNTAS DE AISLAMIENTO MONOLÍTICAS

Se contará con un estudio para determinar los efectos de las líneas eléctricas de alta tensión en el área del gasoducto, proponiendo protectores de descarga/aisladores de estado sólido para reducir los efectos de cualquier tensión perjudicial.

### **3.2 ESTACIONES DE MEDICIÓN Y COMPRESIÓN.**

#### **ESTACIÓN DE MEDICIÓN**

En esta estación se contará con medidores de orificio de doble cámara para la medición en las estaciones de recepción y de entrega, el uso de estos medidores ofrece las siguientes ventajas:

- Cambio rápido de placas de orificio
- Flujo ininterrumpido de gas durante los cambios de placa de orificio
- Eliminación de gas venteado durante los cambios de placa de orificio.

Los dimensionamientos de los medidores de orificios de la estación de recepción se basará en el uso de transmisores de presión diferencial de 0-381 cm de columna de agua para reducir la caída de presión a la entrada del sistema. La condición de flujo mínimo podría medirse en el peor de los casos, que correspondería a la presión de entrada máxima de 6,865 kPa. La capacidad de flujo máximo de la estación se calculará asumiendo la presión de entrada mínima de 4,903 kPa.

Se requerirán de dos trenes de medidores de orificio de 406 mm (NPS 16), proporcionándose un tercer tren como reserva. El tren primario contiene válvulas de aislamiento manuales con fines de mantenimiento, y siempre se dejan abiertas. Los segundos y terceros trenes cuentan con válvulas automáticas, que serán controladas por un dispositivo, en caso de falla de la segunda válvula, el dispositivo enviará una señal a la tercera válvula para asegurar una medición de flujo alto exacta y una caída mínima de presión.

Construcción del Proyecto.  
Estaciones de Medición y Compresión.

Los medidores de orificio de las estaciones de entrega se dimensionarán empleando transmisores de presión diferencial de 0-762 cm de columna de agua, contando con un flujo mínimo de combustible del 60% del máximo.

| LOCALIDAD             | ENTREGA INICIAL | CAPAC. MIN./MAX m <sup>3</sup> x 10 <sup>6</sup> /D | DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO   |
|-----------------------|-----------------|---|--|
| Estación de recepción | septiembre 1999 | 0.88/8.81   | Tres (una de reserva) trenes de medidores de orificio de doble cámara de 406 mm (NPS 16) |
| Campeche II           | enero 2000      | 0.40/1.34   | Dos (una de reserva) trenes de medidores de orificio de doble cámara de 203 mm (NPS 8)   |
| Terma                 | enero 2010      | 0.19/1.24   | Tres (una de reserva) trenes de medidores de orificio de doble cámara de 203 mm (NPS 8)  |
| Merida II             | noviembre 1999  | 0.40/1.32   | Dos (una de reserva) trenes de medidores de orificio de doble cámara de 254 mm (NPS 10)  |
| Merida III            | septiembre 1999 | 0.79/2.62   | Dos (una de reserva) trenes de medidores de orificio de doble cámara de 254 mm (NPS 10)  |
| Nachicocorn           | noviembre 2011  | 0.14/0.46   | Dos (una de reserva) trenes de medidores de orificio de doble cámara de 152 mm (NPS 6)   |
| Valladolid V          | febrero 2000    | 0.18/0.60   | Dos (una de reserva) trenes de medidores de orificio de doble cámara de 203 mm (NPS 8)   |
| Valladolid CC         | octubre 1999    | 0.44/1.48   | Dos (una de reserva) trenes de medidores de orificio de doble cámara de 203 mm (NPS 8)   |
| Valladolid II         | julio 2004      | 0.40/1.34   | Dos (una de reserva) trenes de medidores de orificio de doble cámara de 203 mm (NPS 8)   |

INFORMACIÓN ASOCIADA CON LOS MEDIDORES DE ORIFICIO EN LAS ESTACIONES DE RECEPCIÓN Y DE ENTREGA.

Los dispositivos utilizados en las estaciones se comunicarán en serie con un cromatógrafo en el sitio para obtener datos de calidad de gas en tiempo real para usarse en la observación de la calidad de gas en la estación de recepción. Los cromatógrafos en línea serán capaces de realizar nueve análisis completos por hora que consisten en datos de calidad del gas sin procesar.

Toda la información de la calidad y flujo de gas se integran y se almacenan durante un periodo de 35 días. Todos los datos son comunicados al centro de control de operaciones cada cierto tiempo para alertar.

## ESTACIÓN DE COMPRESORES

El sitio de la estación de compresores es seleccionada como resultado de un modelaje hidráulico, el sitio está situado en el km 33.1 a lo largo de la ruta del gasoducto aproximadamente 1.1 km al noroeste de Bajadas, Granadas, Chiapas, el sitio es elevado y de contornos definidos, de modo que la nivelación será mínima.

La estación de compresores será diseñada para una operación autónoma, será atendida por un técnico 16 hr/día, el sistema podrá localizar una falla para no parar completamente la estación de compresores.

La estación de compresores estará constituida por dos unidades de turbo/compresores de operación y una de reserva, las turbinas de gas, están clasificadas en 4,101 kW (5,500 hp), con su capacidad normal reducida a 3,339 kW (4,478 hp) para condiciones del sitio de 20 m sobre el nivel medio del mar y a una temperatura de 37.8 °C.

Las unidades montadas incluirán paquetes resistentes, a pruebas de mal tiempo, y con revestimiento acústico para satisfacer de la manera más efectiva los requerimientos de detección y protección contra incendios, teniendo un sistema de extinción de anhídridos CO<sub>2</sub> carbónico.

Cada paquete también contará con un sistema integral de aceite lubricante, completo con bombas, filtros, protección contra las temperaturas altas y bajas, enfriador de aceite por aire, el arranque se logrará empleando un motor o una turbina de expansión de gas.

Cada conjunto de turbina/compresor incluirá un sistema de control basado en un microprocesador. Será totalmente independiente y estará equipado para proteger, monitorear y controlar todas las funciones asociadas con la operación de la turbina y compresor como son:

- Sistema de combustible para la turbina
- Temperatura de descarga de la turbina
- Velocidades de la turbina y compresores
- Vibración de la turbina y compresores
- Flujo del compresor
- Presiones de succión y descarga del compresor
- Prevención contra inestabilidad del compresor
- Sistema de aceite lubricante

En el caso de un incendio o fuga de gas, se proporcionará un sistema de Paro de Emergencia, para detener todos los equipos de compresión y bloquear y purgar todas las tuberías de la estación de compresores.

Dos filtros/separadores de entrada de gas, cada uno de ellos dimensionado para un 100% de la capacidad de diseño máximo de la estación de compresores, se diseñarán para remover el 99% de todas las partículas sólidas y líquidas mayores a 1 micrón, las válvulas de alivio de presión estarán para evitar que las presiones internas alcancen el 120% de la MPPO en caso de incendio.

Los líquidos acumulados dentro de los separadores se drenarán automáticamente a un tanque de almacenamiento, los interruptores por nivel de líquido que controlan la válvula de drenado, enviarán también una señal al sistema de control a nivel de estación, para activar una alarma de la ocurrencia de un nivel alto.

Se suministrarán intercambiadores de calor enfriados con aire para enfriar el gas comprimido antes de que entre a la tubería de modo de proteger el revestimiento de EFF, el número de secciones de enfriamiento de gas será equivalente al número de unidades de compresores instalados (más el de reserva).

Todos los ventiladores de enfriamiento eléctricos serán de velocidad fija, con excepción de dos (uno de reserva) que tendrá Impulsores de Frecuencia Variable (IFV) para controlar en forma más precisa la temperatura de salida.

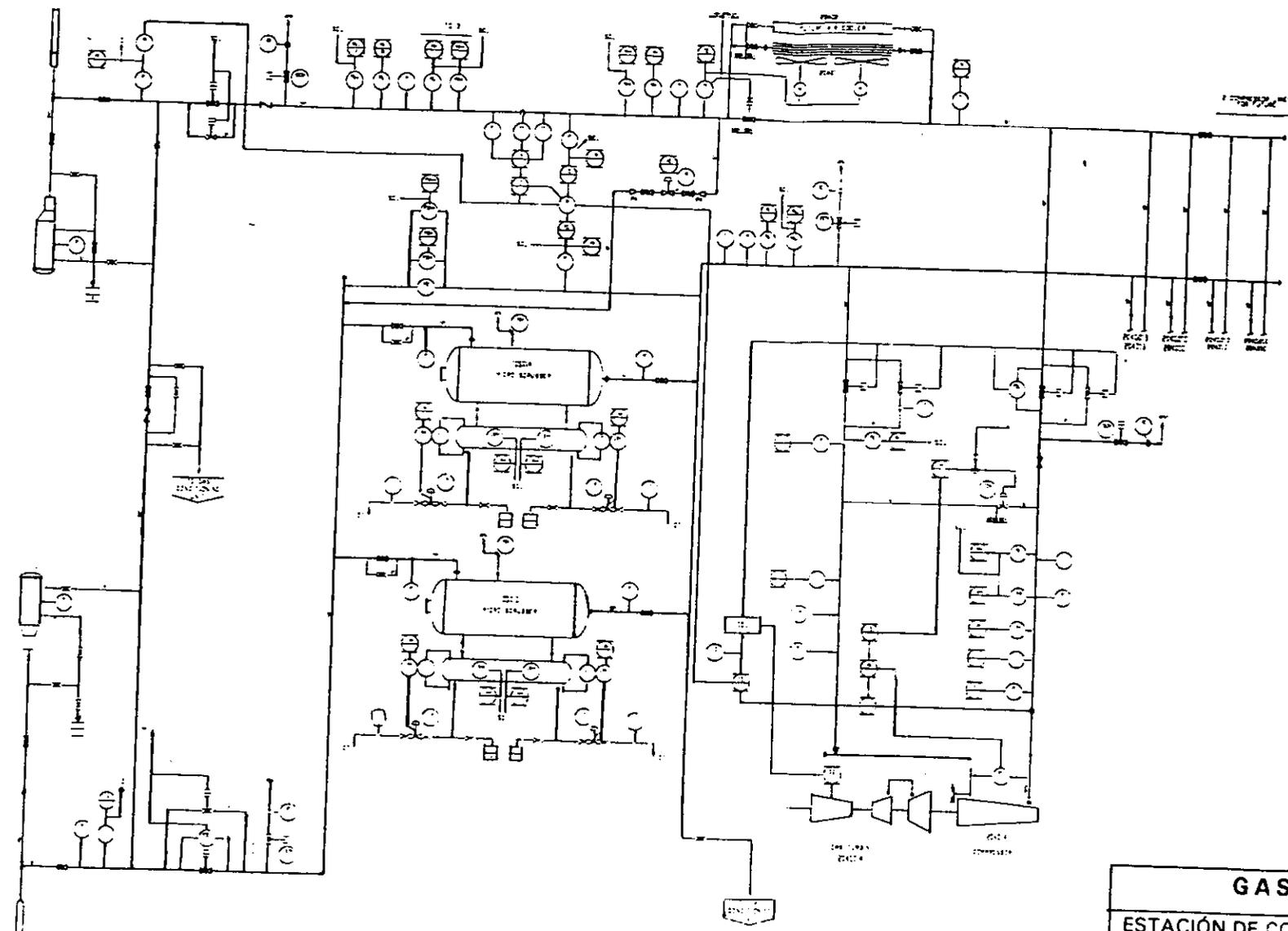
La temperatura de salida será de 49°C, el sistema estará ajustado para activar una alarma si la temperatura del gas alcanza 52°C y producir un paro si dicha temperatura llega a 55°C durante un período de tiempo sostenido predeterminado.

El sistema de detección de gases peligrosos se tendrá en cada unidad turbo/compresora, si el valor detectado alcanza o excede el 50% del límite explosivo inferior (LEI) se iniciará un paro de emergencia, también se contará con detectores de flamas en la sala de control.

Los pulsadores de operación manual del sistema de paro de emergencia también se ubicarán en forma estratégica, permitiendo que el personal inicie el paro cuando ocurra un evento inesperado no considerado por el sistema de paro de emergencia automatizado.

El sistema de control supervisor a nivel de la estación limitará las presiones de descarga a 9,990 kPa. En caso que el sistema de control no pueda limitar la presión un interruptor de presión ajustado al 4% por encima de la MPPO disparará todas las unidades de operación.

Se instalarán reguladores de observación en serie con los reguladores de presión del sistema de combustible para proteger a las tuberías de dicho sistema en caso de falla de los reguladores de presión, se instalarán válvulas de seguridad en cada separador de líquido para proteger el recipiente contra la sobrepresión en caso de incendio.



- NOTES**
- VP VENT OF PRESSURE SAFETY VALVES
  - DRAIN
  - DISPATCHING
  - SCL STATION CONTROL LOGIC
  - ENGINE SEQUENCE
  - EC ENGINE CONTROL LOGIC
  - CONDENSATE TANK

|   |                         |
|---|-------------------------|
| <b>GASODUCTO MÉRIDA</b>   |                         |
| ESTACIÓN DE COMPRESIÓN<br>DIAGRAMA DE TUBERÍAS E<br>INSTRUMENTACIÓN | ARELY ROBLES<br>BOLAÑOS |
| TESIS PROFESIONAL   |                         |
| FACULTAD DE INGENIERÍA  | UNAM                    |

### 3.3 OBRAS ESPECIALES PARA RECEPCIÓN Y ENTREGA DE GAS.

#### ESTACIÓN DE RECEPCIÓN

La estación de recepción estará situada en Ciudad Pemex, empleándose tres trenes de medidores de orificio de doble cámara de 406 mm (NPS 16) (una de reserva). El dispositivo MEG servirá también de controlador de la estación y de Unidad Terminal Remota (UTR).

Se instalarán dos cromatógrafos de gas para determinar la composición del gas que se utilizará para calcular el valor del poder calorífico del gas y de las velocidades de flujo de energía y masa.

Se instalarán analizadores de H<sub>2</sub>S y de humedad para monitorear la calidad del gas, recibiendo así las especificaciones dadas a continuación:

| CARACTERÍSTICAS                     | UNIDAD                                   | ESPECIFICACIÓN   |
|-------------------------------------|--|--|
| Poder calorífico bruto en base seca | kcal/m <sup>3</sup><br>MJ/m <sup>3</sup> | 8455 mín.<br>35.39 mín.  |
| Ácido sulfhídrico                   | mg/m <sup>3</sup><br>ppm                 | 6.1 máx.<br>4.4 máx.   |
| Azufre Total                        | mg/m <sup>3</sup><br>ppm                 | 258 máx.<br>200 máx.   |
| Humedad                             | mg/m <sup>3</sup>                        | 112 máx.   |
| Nitrógeno + bióxido de carbono      | % Vol                                    | 3 máx.   |
| Contenido de licuables              | l/m <sup>3</sup>                         | 0.059 máx.   |
| Temperatura                         | K  | 323 máx.   |
| Oxígeno                             | % V                                      | 0.5 máx.   |
| Material sólido                     | ----                                     | Libre de polvos, gomas y cualquier sólido que ocasione problemas en la tubería |
| Líquidos                            | ----                                     | Libre de agua y de hidrocarburos líquidos                                      |
| Microbiológicos                     | ----                                     | Libre  |

Se instalarán dos válvulas de control de flujo, cada una de ellas dimensionadas para el 100% del flujo diario máximo requerido, para mantener el volumen de entrada al sistema de acuerdo con los volúmenes programados diarios requeridos. La caída de presión en la válvula se reducirá al mínimo, pero será suficiente para permitir un control adecuado con los volúmenes de diseño inferiores. El dispositivo MEG controlará las válvulas de control y tendrá la capacidad de controlar los puntos de ajuste tanto en forma remota como local.

Se proporcionará un separador de líquidos con un desvío a la entrada de la estación, contará con una válvula de alivio de seguridad para evitar que las presiones internas alcancen el 120% de la MPPO en caso de incendio. Los líquidos recolectados dentro del separador se drenarán automáticamente a un tanque de almacenamiento una vez que el nivel llegue a un límite predeterminado.

Todas las tuberías de la estación serán de construcción tipo C. Las tuberías sobre el suelo se pintarán y las tuberías enterradas se revestirán, empleando pinturas y revestimientos compatibles con las temperaturas ambientales y de operación. Todas las tuberías se someterán a pruebas hidrostática a un mínimo de 10,34 kPa durante 8 horas, la caída de presión se limitará a 69 kPa en las tuberías de la estación.

Se proporcionará un Sistema de Energía Ininterrumpible (SEI) para mantener las operaciones del dispositivo MEG, comunicaciones, cromatógrafos de gas y equipo de observación de la calidad del gas durante interrupciones de energía por un período de 8 horas.

El gasoducto corriente arriba de la estación de compresores está diseñado para una MPPO de 6895 kPa que es equivalente a la MPPO de las tuberías de 610 mm, la válvula de control de flujo tendrá prioridad de protección contra la sobrepresión para mantener la presión de entrada del sistema a un valor dentro del 104% de la MPPO. Bajo condiciones de operación normal, la válvula de control de flujo operará para mantener el punto de ajuste programado; en caso de exceder la MPPO, la válvula cambiará de modo de control de flujo al modo de protección contra la sobrepresión.

Construcción del Proyecto.  
Obras Especiales para Recepción y Entrega de Gas.

## ESTACIÓN DE ENTREGA

Las estaciones de entrega estarán situadas en cada uno de los puntos de entrega enumerados a continuación, dentro de las instalaciones de las centrales termoeléctricas, el dimensionamiento del sistema de medición estará de acuerdo a la tabla, utilizándose dos trenes de medidores de orificio de doble cámara, cada una de ellas dimensionadas para el 100 % del flujo diario máximo requerido. Cada estación de entrega tendrá los dispositivos MEG y dos cromatógrafos (uno de reserva).

| PUNTO DE ENTREGA | UNIDADES | CAPACIDAD DE GENERACIÓN DE LA ESTACIÓN (MW) | EFICIENCIA TOTAL DE GENERACIÓN % | FLUJO MÁXIMO DIARIO REQUERIDO DE GAS MMm <sup>3</sup> /D | Razón de Cambio de El Suministro de Gas %/Min | Presión para la Entrega     |                             | Fecha de Entrega Inicial del Gas |
|------------------|----------|---|----------------------------------|--|---|-----------------------------|-----------------------------|----------------------------------|
|                  |          |   |                                  |  |   | Mínimo kg/cm <sup>2</sup> g | Máximo kg/cm <sup>2</sup> g |                                  |
| Campeche         | 1        | 225.0                                       | 45.0                             | 1.34   | 5.0   | 25.0                        | 26.0                        | Ene 2000                         |
| Yermo            | 1        | 37.5  | 32.4                             | 0.31   | 3.0   | 7.0                         | 7.4                         | Ene 2010                         |
|                  | 2        | 37.5  | 32.4                             | 0.31   | 3.0   | 7.0                         | 7.4                         | Mar 2010                         |
|                  | 3        | 37.5  | 32.4                             | 0.31   | 3.0   | 7.0                         | 7.4                         | May 2010                         |
|                  | 4        | 37.5  | 32.4                             | 0.31   | 3.0   | 7.0                         | 7.4                         | Jul 2010                         |
| Nachicocom       | 1        | 24.5  | 28.2                             | 0.23   | 3.0   | 7.0                         | 7.4                         | Nov 2011                         |
|                  | 2        | 24.5  | 28.2                             | 0.23   | 3.0   | 7.0                         | 7.4                         | Ene 2012                         |
| Mérida II        | 1        | 84.0  | 34.3                             | 0.66   | 3.0   | 7.0                         | 7.4                         | Nov 1999                         |
|                  | 2        | 84.0  | 34.3                             | 0.66   | 3.0   | 7.0                         | 7.4                         | Ene 2000                         |
| Mérida III CC    | 1        | 220.0                                       | 45.0                             | 1.31   | 5.0   | 25.0                        | 26.3                        | Sep 1999                         |
|                  | 2        | 220.0                                       | 45.0                             | 1.31   | 5.0   | 25.0                        | 26.3                        | Feb 2000                         |
| Valladolid V     | 1        | 37.5  | 33.4                             | 0.30   | 3.0   | 7.0                         | 7.4                         | Feb 2000                         |
|                  | 2        | 37.5  | 33.4                             | 0.30   | 3.0   | 7.0                         | 7.4                         | Abr 2000                         |
| Valladolid II    | 1        | 225.0                                       | 45.0                             | 1.34   | 5.0   | 25.0                        | 26.3                        | Jul 2004                         |
| Valladolid CC    | 1        | 220.0                                       | 40.0                             | 1.48   | 5.0   | 20.0                        | 21.0                        | Oct 1999                         |
| <b>TOTAL</b>     |          | <b>1552.0</b>                               |                                  | <b>10.41</b>   |   |                             |                             |                                  |

1) Basado en el valor calorífico de 7691 kcal/m<sup>3</sup>

2) La temperatura mínima de entrega requerida en los puntos de entrega es de 10°C.

Las estaciones de entrega se diseñarán para una operación autónoma y no atendida por personal, un MEG proporcionará los cálculos necesarios y las funciones de control y adquisición de datos.

Se proporcionarán dos trenes, cada uno de ellos dimensionados para el 100% del flujo diario máximo de gas requerido, con una válvula de control de presión y monitor para proteger contra la sobrepresión, para mantener presión de entrega constante en cada punto de entrega de acuerdo a la tabla anterior.

La válvula de control de presión en la sección primaria se ajustará a la presión de entrega máxima, mientras que la válvula de control de presión en la sección secundaria se ajustará a la presión de entrega mínima. Bajo condiciones de operación normal, el gas fluirá a través de la sección primaria, y la sección secundaria permanecerá cerrada. Si ocurren fallas de la válvula de control de presión y monitor de la sección primaria, se producirá una caída de presión que abrirá la sección secundaria.

Se proporcionarán dos filtros de gas de entrada para el 100% del flujo diario máximo de gas de la planta de energía eléctrica en todos los puntos de entrega. Los filtros se diseñarán para extraer el 99% de todas las partículas sólidas cuyo tamaño sea superior a 1 micrón. El dispositivo MEG monitoreará las presiones diferenciales de los filtros y activará una alarma para indicar que es necesario cambiar los elementos filtrantes.

Todas las tuberías de la estación de entrega serán de construcción tipo C, las tuberías sobre el suelo se pintarán y las enterradas se revestirán, todas se someterán a pruebas hidrostáticas de un mínimo del 150% de la MPPO durante 8 horas. La caída de presión se limitará a 69 kPa las tuberías de la estación para estaciones sin calentadores y 103.5 kPa en las tuberías de la estación con calentadores.

También se tendrá un sistema SEI para mantener las operaciones del dispositivo MEG, comunicaciones y cromatógrafo de gas durante la interrupciones de energía durante 8 horas.

Construcción del Proyecto.  
Obras Especiales para Recepción y Entrega de Gas.

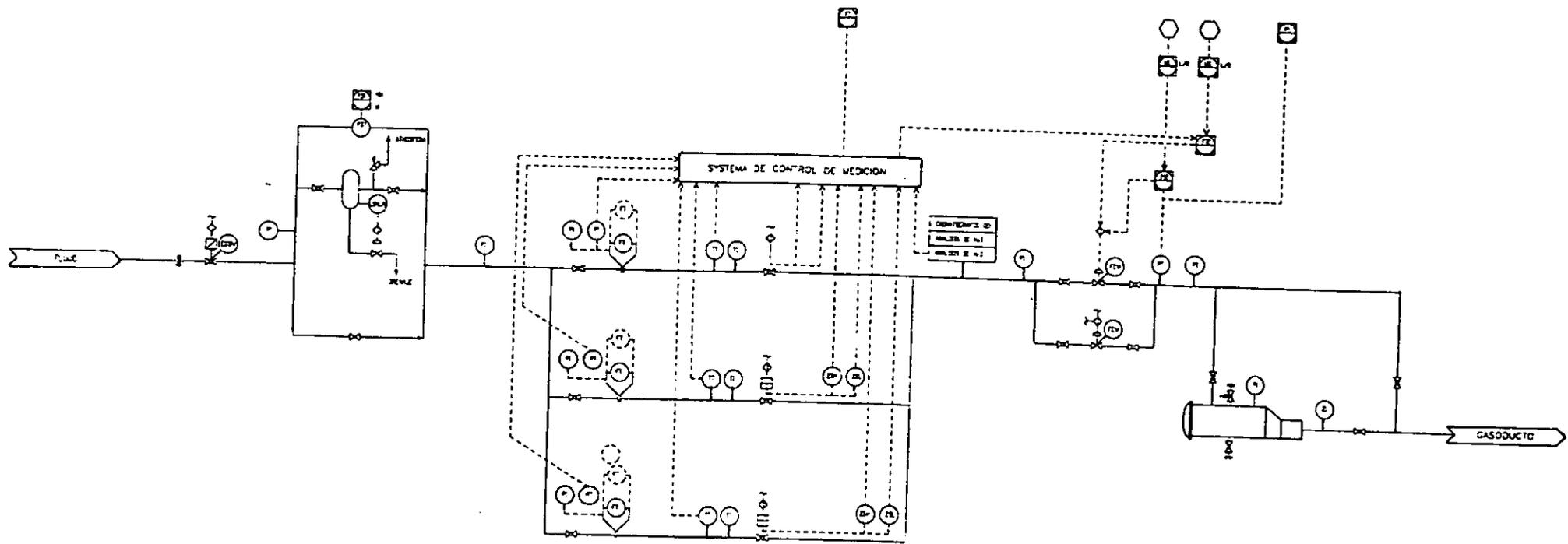
Habrán válvulas mecánicas de entrada y salida para aislar la estación de entrega del gasoducto en caso de emergencia. Un interruptor tipo pulsador se ubicará cerca de la salida de la instalación para activar el paro de la misma.

Se deberán instalar dos calentadores indirectos de encendido a gas natural, cada uno de ellos dimensionado para el 100% de flujo diario máximo requerido, en los siguientes puntos de entrega para mantener la temperatura de entrega mínima de 10°C requerida.

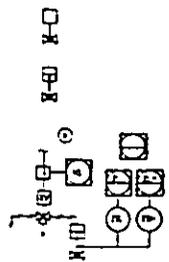
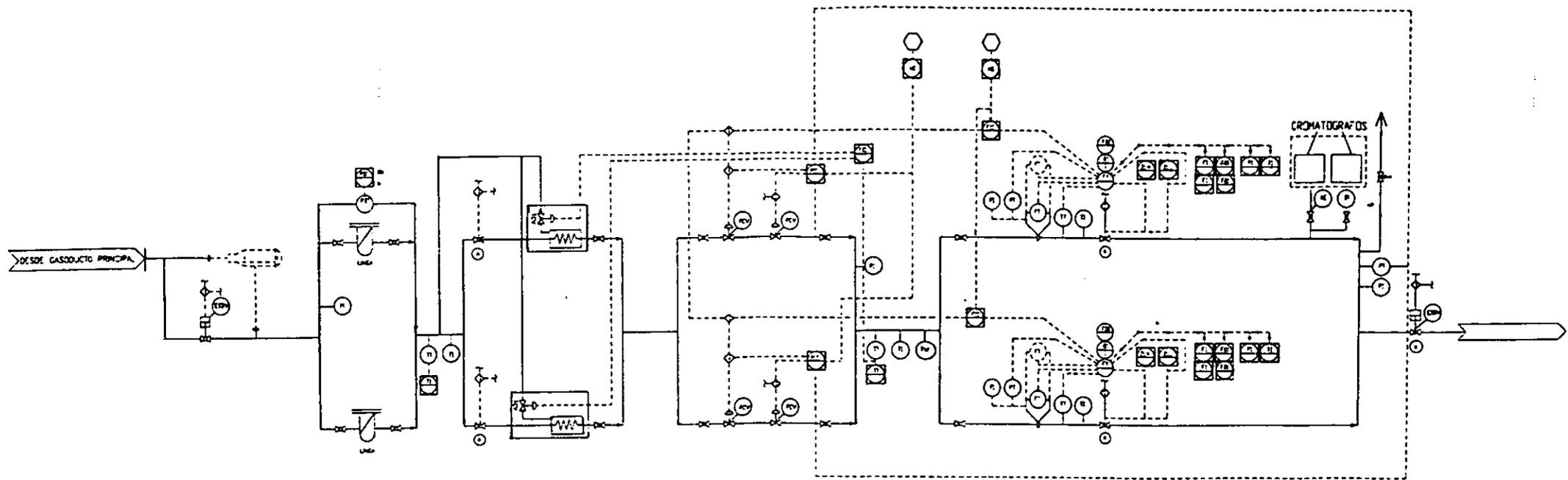
| Sitio     | Rendimiento del calentador (KW) |
|-----------|---------------------------------|
| Campeche  | 1,080                           |
| Lerma     | 560                             |
| Mérida II | 200                             |
| Nachicom  | 70                              |

UBICACIÓN Y RENDIMIENTO DE LOS CALENTADORES DE GAS EN LOS PUNTOS DE ENTREGA

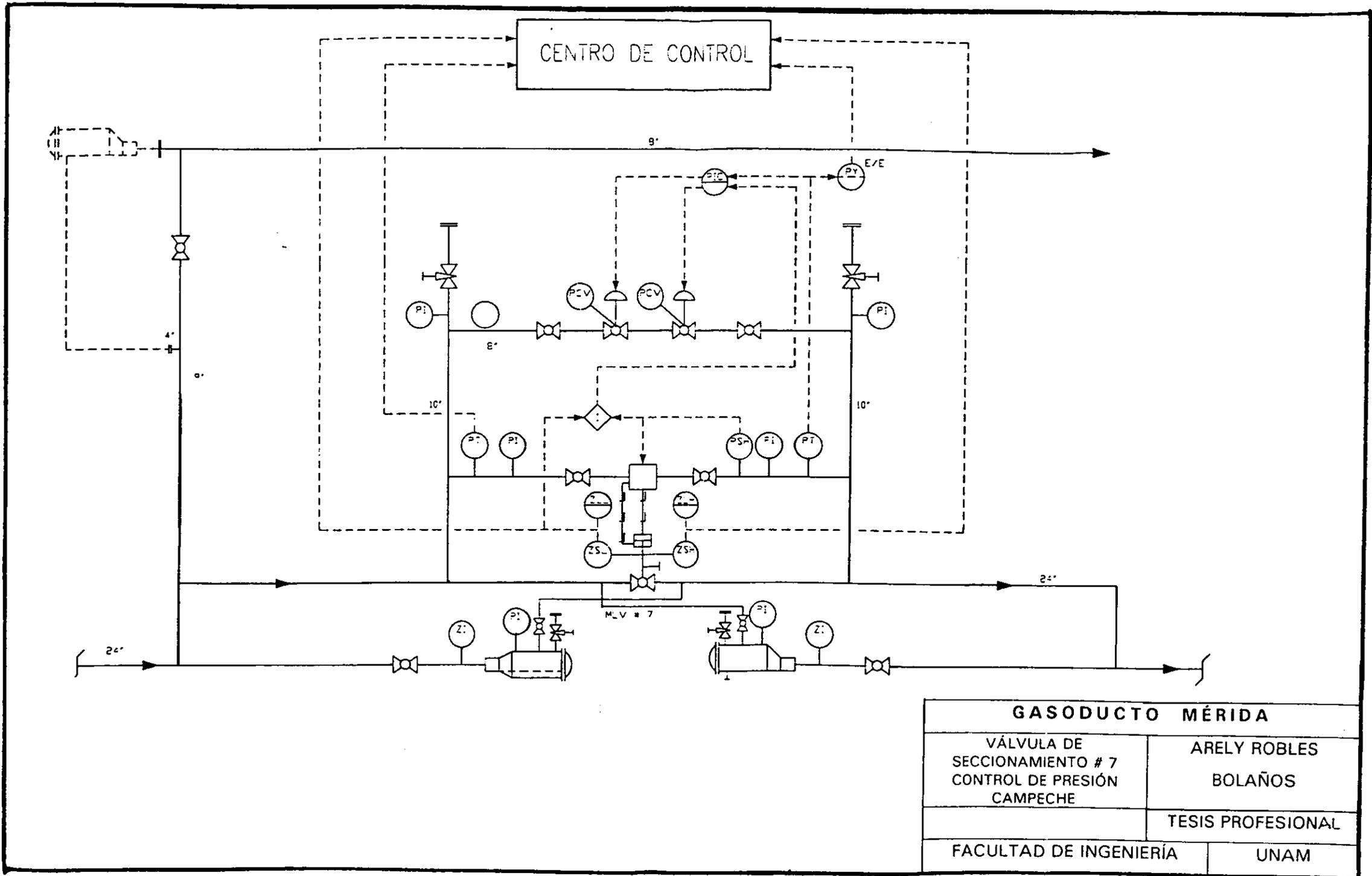
Se instalarán válvulas de control de presión en serie con los reguladores de monitor en cada estación, los puntos de ajuste tanto del monitor primario como del secundario serán iguales o inferiores al 105% del punto de ajuste de la válvula de control de presión de la sección primaria, el uso de los reguladores de monitor proporcionara la protección contra la sobrepresión.



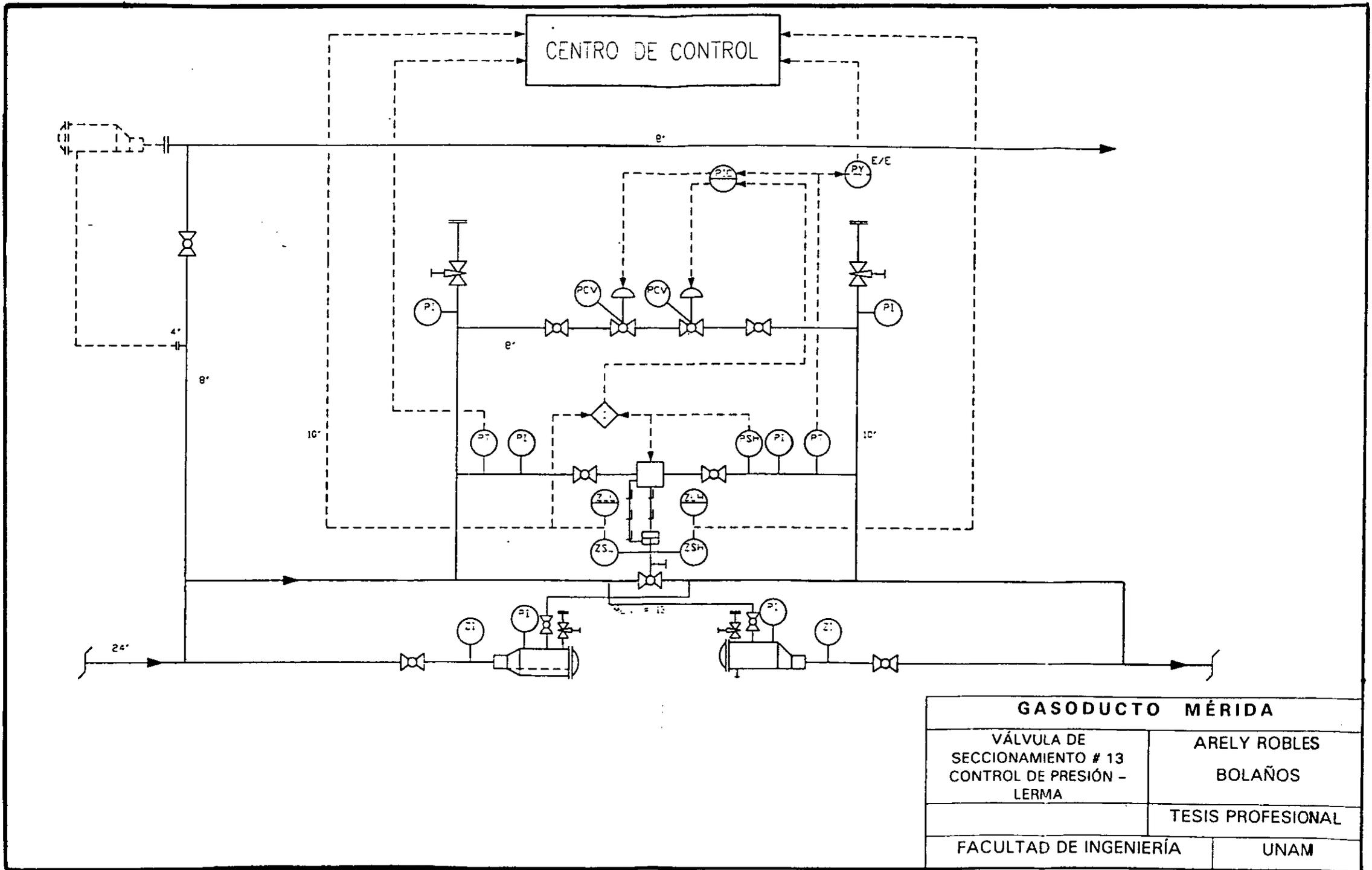
|  |                   |
|--|-------------------|
| <b>GASODUCTO MÉRIDA</b>                          |                   |
| ESTACIÓN DE RECEPCIÓN DE PEMEX                   | ARELY ROBLES      |
| DIAGRAMA PRELIMINAR DE TUBERÍA E INSTRUMENTACIÓN | BOLAÑOS           |
|  | TESIS PROFESIONAL |
| FACULTAD DE INGENIERÍA                           | UNAM              |



|  |                         |
|--|-------------------------|
| <b>GASODUCTO MÉRIDA</b>  |                         |
| ESTACIONES DE ENTREGA<br>DIAGRAMA PRELIMINAR DE<br>TUBERÍA E<br>INSTRUMENTACIÓN TÍPICO | ARELY ROBLES<br>BOLAÑOS |
|  | TESIS PROFESIONAL       |
| FACULTAD DE INGENIERÍA   | UNAM                    |



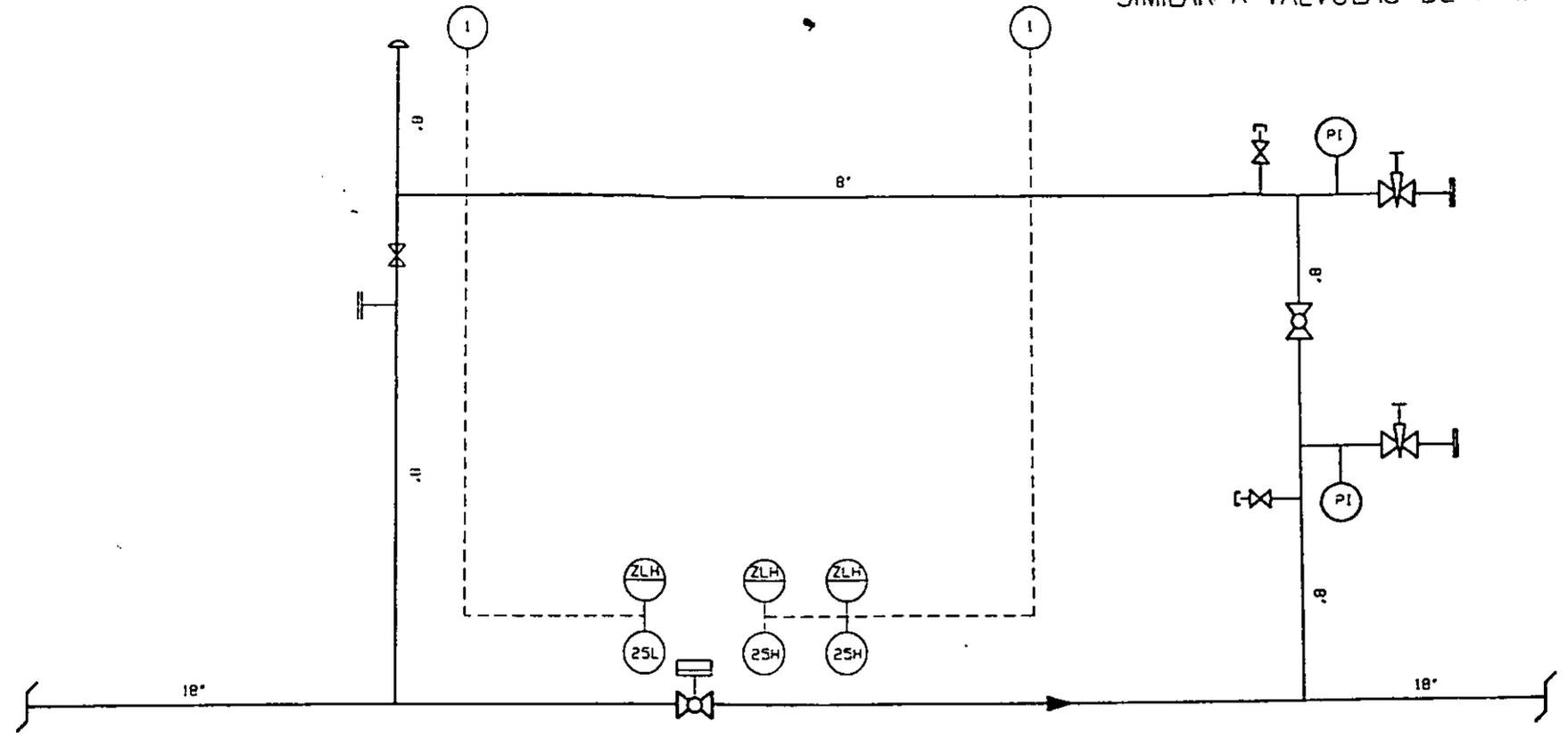
|   |                         |
|---|-------------------------|
| <b>GASODUCTO MÉRIDA</b>   |                         |
| VÁLVULA DE SECCIONAMIENTO # 7<br>CONTROL DE PRESIÓN<br>CAMPECHE | ARELY ROBLES<br>BOLAÑOS |
| TESIS PROFESIONAL   |                         |
| FACULTAD DE INGENIERÍA  | UNAM                    |



|  |                         |
|--|-------------------------|
| <b>GASODUCTO MÉRIDA</b>                                      |                         |
| VÁLVULA DE SECCIONAMIENTO # 13<br>CONTROL DE PRESIÓN - LERMA | ARELY ROBLES<br>BOLAÑOS |
|  | TESIS PROFESIONAL       |
| FACULTAD DE INGENIERÍA                                       | UNAM                    |

CENTRO DE CONTROL

SIMILAR A VALVULAS DE CONTROL  
SIMILAR A VALVULAS DE PRESION



|   |                         |
|---|-------------------------|
| <b>GASODUCTO MÉRIDA</b>                                     |                         |
| VÁLVULA DE SECCIONAMIENTO # 20<br>VÁLVULA DE CONTROL REMOTO | ARELY ROBLES<br>BOLAÑOS |
|   | TESIS PROFESIONAL       |
| FACULTAD DE INGENIERÍA                                      | UNAM                    |

## 4. ANÁLISIS FINANCIERO.

### 4.1 ANÁLISIS.

Los cambios estructurales en el mercado del gas natural, alcanzan un desarrollo balanceado entre los diversos agentes del mercado, y promueven la competencia mediante el uso de combustibles limpios y una mayor eficiencia en el servicio.

Al promover la participación de los particulares en el transporte, distribución y almacenamiento de gas natural, las reformas estructurales están orientadas a complementar los recursos de Pemex las actividades de exploración, extracción y procesamiento, beneficiando a los particulares al permitirles utilizar los ductos de transporte que Pemex tiene en operación.

La política energética actual propone concentrar los recursos públicos en áreas consideradas como prioritarias y fomentar la inversión privada en las actividades previstas por la legislación, no reservadas al Estado.



En el mercado de gas natural en Estados Unidos de América se pueden identificar alrededor de 25 grandes puntos comerciales, los cuales funcionan como referencia para la determinación de los precios de gas natural en México, ya que no existe un mercado internacional integrado para los precios del gas natural.

**OPORTUNIDADES DE INVERSIÓN EN EL TRANSPORTE DE GAS NATURAL**

| TRAYECTO                       | POSIBLES ESPECIFICACIONES  | OBSERVACIONES   |
|--------------------------------|--|---|
| Cd Pemex-Mérida                | long. Aprox. 693.1 km<br>Interconexión: Cd Pemex<br>Suministro: Pemex      | -Está vinculado al proyecto de la termoeléctrica de Mérida III.<br>-Consumo actual de las plantas de CFE.<br>-Permite atender al corredor turístico y agroindustrial. |
| Rosarito                       | Capacidad req.:500 mmpcd<br>Suministro:sur de los Estados Unidos           | -Vinculado a la transformación de las plantas de CFE.<br>-Permite atender el corredor turístico e industrial de la zona.  |
| Hermosillo -Guaymas            | long.: 140 km<br>Interconexión: ducto Naco-Hermosillo<br>Suministro: Pemex | -Posible empalme con Puerto Libertad.<br>-Suministro a las plantas de la CFE.<br>-Incluye importante corredor económico.  |
| Monterrey-Cd Alemán Tamaulipas | long.:148 km<br>Diámetro:24"<br>Suministro:Texas,USA                       | -Permite atender a las plantas de la CFE.<br>-Permite atender la zona industrial de Monterrey.  |

La estructura de los precios del gas natural considera, entre otros factores: las regiones en donde se realiza el consumo, el volumen de compra, y el tipo de consumidores finales (comercial, doméstico e industrial), razón por la cual los precios varían inter e intrarregionalmente.

Se crea un Comité de Precios de Productos Petroquímicos, para instrumentar, en cuanto a gas natural, una política de precios que reflejará su

costo de oportunidad y las fluctuaciones del mercado internacional. El Comité lo integran representantes de la SCHP, Secretaría de Energía, SECOFI, SECODAM, la Comisión Reguladora de Energía (CRE), Pemex Corporativo y sus subsidiarias.

La nueva metodología para la determinación del precio del gas natural, lo establece a través del precio máximo de venta de primera mano, las tarifas de transporte y distribución, los cargos por uso, servicio y conexión. Tiene como finalidad establecer tarifas flexibles que permitan obtener una rentabilidad apropiada sobre los activos del gas, a efecto de favorecer el desarrollo del mercado.

El precio más alto que Petróleos Mexicanos podrá cobrar por el gas entregado a la salida de las plantas de proceso, se expresará en dólares de los Estados Unidos por unidad (volumen de gas que contiene la energía equivalente a 1,000 millones de calorías, a un kg/cm<sup>2</sup> de presión absoluta y una temperatura de 20°C) y se calculará diariamente tomando como base el precio de las ventas de primera mano y como ajuste por transporte en México las tarifas máximas autorizadas a Pemex, a fin de reproducir las condiciones de un mercado competitivo.

El esquema del gasoducto será una concesión para el servicio de transporte de gas natural con una duración de 26 años, periodo en el cual se amortizará la inversión y el gasoducto será transferido a la Comisión Federal de Electricidad.

## **4.2 EVALUACIÓN FINANCIERA.**

El ingreso gravable se proyecta considerando las cantidades que se facturarán.

El gasoducto se considerará como un activo fijo, la depreciación de los activos fijos se calcula aplicando las tasas de depreciación anual y considerando las distintas alternativas para el momento de inicio de su depreciación.

El componente inflacionario de los créditos y deudas se proyectó considerando un factor de inflación estimado, así como el promedio de los créditos y deudas. Los intereses devengados a favor, se disminuyeron por el componente inflacionario de los créditos.

En aquellos casos en que el componente inflacionario de los créditos fue mayor que los intereses devengados a favor, la diferencia se consideró una pérdida inflacionaria reducida.

Los intereses devengados a cargo, se disminuyeron por el componente inflacionario de las deudas. El exceso, en su caso, se consideró interés deducible.

La ganancia y pérdida cambiaría se proyectó aplicando al saldo inicial y final de los créditos y deudas denominados en moneda extranjera, un tipo de cambio proyectado al inicio y al final del período. El resultado se consideró como un ingreso o un gasto por concepto de intereses, sobre la base de devengado.

El cálculo fiscal incluyó los efectos que se generarían en caso de que las sociedades involucradas incurran en pérdidas fiscales. Este cálculo incluye el efecto que se generaría en caso de que la sociedad de proyecto pague dividendos, en cuyo caso, de conformidad los dividendos pagados en cantidad

menor o igual al saldo de la Cuenta de Utilidad Fiscal Neta (CUFIN), se consideraron como libres de impuesto.

El impuesto al activo se proyectó aplicando la tasa del 1.8% al promedio de activos fijos y financieros, disminuido de ciertas deudas. Las proyecciones mostraron que durante los primeros años de operación de la sociedad del proyecto, el impuesto al activo causado será superior al impuesto sobre la renta. El impuesto sobre la renta de ejercicios posteriores excederá al impuesto al activo correspondiente a dichos ejercicios pagado en ejercicios anteriores que exceda al impuesto sobre la renta.

Con base en las legislaciones locales aplicables, la sociedad de proyecto incurrirá en impuesto predial únicamente respecto de aquellos predios sobre los que a través del contrato de fideicomiso de garantía o administración, se detente la propiedad, posesión o derechos de uso bajo cualquier forma legal, quedando excluidos los predios sirvientes.

La sociedad de proyecto tendrá dos compañías afiliadas; una que proporcionará financiamiento, y otra que prestará los servicios de operación y mantenimiento del gasoducto a la sociedad de proyecto

| Monto Estimado de la Inversión Física<br>(\$ USD) |               |   |
|---|---------------|---|
| Ingeniería  | \$26 515 000  | (veintiséis millones quinientos quince mil)                             |
| Suministro  | \$107 388 000 | (ciento siete millones trescientos ochenta y ocho mil)                  |
| Construcción                                      | \$123 752 000 | (ciento veintitrés millones setecientos cincuenta y dos mil)            |
| Pruebas   | \$2 344 000   | (dos millones trescientos cuarenta y cuatro mil)                        |
| Monto Total                                       | \$259 999 000 | (doscientos cincuenta y nueve millones novecientos noventa y nueve mil) |

PROGRAMA DE INVERSIONES PLANEADAS (MILES DE DÓLARES)

|                                | 1997   | 1998    | 1999    | 2000   | 2001   | 2002   | 2003   | 2004   | 2005   | 2006   | 2007   | 2008   |
|--------------------------------|--------|---------|---------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Derecho de vía A               | 21,000 | 6,000   | 0       | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      |
| Capital Costos                 | 43,536 | 159,939 | 55,463  | 0      | 0      | 0      | 0      | 10,644 | 0      | 0      | 0      | 0      |
| Costo de desarrollo y manejo   | 12,904 | 12,944  | 9,708   | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      |
| Capital de trabajo             | 0      | 0       | 6,032   | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      |
| Otro Costo                     | 88     | 10      | 190     | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      |
| Costo de financiamiento        |        |         | 91,845  | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      |
| Inversiones totales por un año | 77,527 | 178,894 | 163,239 | 0      | 0      | 0      | 0      | 10,644 | 0      | 0      | 0      | 0      |
| Depreciación actualizada       |        |         | 0       | 18,718 | 19,074 | 19,584 | 20,107 | 21,801 | 22,383 | 22,981 | 23,595 | 24,226 |

|                                | 2009   | 2010   | 2011   | 2012   | 2013   | 2014   | 2015   | 2016   | 2017   | 2018   | 2019   | 2020   |
|--------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Derecho de vía A               | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      |
| Capital Costos                 | 0      | 11,515 | 0      | 11,515 | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      |
| Costo de desarrollo y manejo   | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      |
| Capital de trabajo             | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      |
| Otro Costo                     | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      |
| Costo de financiamiento        | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      |
| Inversiones totales por un año | 0      | 11,515 | 0      | 11,515 | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      |
| Depreciación actualizada       | 24,873 | 26,788 | 27,504 | 28,804 | 29,574 | 28,859 | 29,630 | 30,422 | 31,235 | 32,070 | 32,927 | 32,179 |

|                                | 2021   | 2022   | 2023   | 2024   | 2025   | Total   |
|--------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|
| Derecho de vía A               | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 27,000  |
| Capital Costos                 | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 292,613 |
| Costo de desarrollo y manejo   | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 35,556  |
| Capital de trabajo             | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 6,032   |
| Otro Costo                     | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 288     |
| Costo de financiamiento        | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 91,845  |
| Inversiones torales por un año | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 453,335 |
| Depreciación actualizada       | 33,038 | 33,189 | 34,073 | 34,983 | 35,918 | 718,535 |

**Análisis Financiero.**  
**Evaluación Financiera.**

| MES                                 |     | DERECHO<br>DE VÍA A | CAPITAL<br>COSTOS | COSTO DE<br>DESARROLLO Y<br>MANEJO | OTROS<br>COSTOS | COSTO TOTAL |         |
|-------------------------------------|-----|---------------------|-------------------|------------------------------------|-----------------|-------------|---------|
| 1997                                | abr | Derecho de vía A    | 17,000            | 1,304                              | 0               | 0           | 18,304  |
|                                     | may |                     | 0                 | 0                                  | 0               | 0           | 0       |
|                                     | jun |                     | 0                 | 0                                  | 0               | 0           | 0       |
|                                     | jul |                     | 0                 | 1,955                              | 0               | 0           | 1,955   |
|                                     | ago |                     | 0                 | 1,955                              | 0               | 0           | 1,955   |
|                                     | sep | Construcción        | 0                 | 5,200                              | 0               | 0           | 5,200   |
|                                     | oct | Construcción        | 0                 | 0                                  | 0               | 0           | 0       |
|                                     | nov | Construcción        | 4,000             | 25,727                             | 11,825          | 88          | 41,640  |
|                                     | dic | Construcción        | 0                 | 7,394                              | 1,079           | 0           | 8,473   |
|                                     |     |                     | <hr/>             | <hr/>                              | <hr/>           | <hr/>       | <hr/>   |
|                                     |     |                     | 21,000            | 43,536                             | 12,904          | 88          | 77,527  |
| 1998                                | ene | Construcción        | 0                 | 12,349                             | 1,079           | 0           | 13,428  |
|                                     | feb | Construcción        | 3,000             | 17,724                             | 1,079           | 0           | 21,802  |
|                                     | mar | Construcción        | 0                 | 15,482                             | 1,079           | 0           | 16,560  |
|                                     | abr | Construcción        | 0                 | 18,181                             | 1,079           | 0           | 19,259  |
|                                     | may | Construcción        | 3,000             | 17,493                             | 1,079           | 0           | 21,572  |
|                                     | jun | Construcción        | 0                 | 12,759                             | 1,079           | 0           | 13,838  |
|                                     | jul | Construcción        | 0                 | 10,529                             | 1,079           | 0           | 11,608  |
|                                     | ago | Construcción        | 0                 | 18,089                             | 1,079           | 0           | 19,167  |
|                                     | sep | Construcción        | 0                 | 6,127                              | 1,079           | 0           | 7,206   |
|                                     | oct | Construcción        | 0                 | 11,325                             | 1,079           | 0           | 12,403  |
|                                     | nov | Construcción        | 0                 | 9,887                              | 1,079           | 10          | 10,976  |
|                                     | dic | Construcción        | 0                 | 9,996                              | 1,079           | 0           | 11,075  |
|                                     |     |                     | <hr/>             | <hr/>                              | <hr/>           | <hr/>       | <hr/>   |
|                                     |     |                     | 6,000             | 159,939                            | 12,944          | 10          | 178,894 |
| 1999                                | ene | Construcción        | 0                 | 10,064                             | 1,079           | 190         | 11,333  |
|                                     | feb | Construcción        | 0                 | 9,935                              | 1,079           | 0           | 11,014  |
|                                     | mar | Construcción        | 0                 | 10,409                             | 1,079           | 0           | 11,488  |
|                                     | abr | Construcción        | 0                 | 9,956                              | 1,079           | 0           | 11,034  |
|                                     | may | Construcción        | 0                 | 7,757                              | 1,079           | 0           | 8,835   |
|                                     | jun | Construcción        | 0                 | 5,837                              | 1,079           | 0           | 6,916   |
|                                     | jul | Construcción        | 0                 | 865                                | 1,079           | 0           | 1,944   |
|                                     | ago | Construcción        | 0                 | 305                                | 1,079           | 0           | 1,384   |
|                                     | sep | Construcción        | 0                 | 6,368                              | 1,079           | 0           | 7,446   |
|                                     |     |                     | <hr/>             | <hr/>                              | <hr/>           | <hr/>       | <hr/>   |
|                                     |     |                     | 0                 | 61,495                             | 9,708           | 190         | 71,394  |
| Costo de Financiamiento             |     |                     |                   |                                    |                 | 91,845      |         |
| Total del valor base de los activos |     |                     |                   |                                    |                 | 419,660     |         |

## PRECIO DE ADQUISICIÓN DEL SISTEMA

### *A) Terminación entre la fecha de inicio y la fecha de Operación Comercial.*

En el supuesto caso de presentarse una suspensión que se atribuya a un evento de caso fortuito o fuerza mayor, el dueño del gasoducto tendrá la obligación de adquirir las obras pagando un precio de adquisición que será pagado en dólares fuera de México y que resultará de:

$$PA = VO + \left[ CP \times (RTB + 0.04) \times \left( \frac{M}{12} \right) \right] + F - S$$

Donde:

PA = Precio de Adquisición de la Obra.

VO = Valor de las Obras realizadas, determinado por el Perito Independiente.

CP = Capital Promedio invertido desde la fecha de inicio hasta la fecha de la rescisión o terminación.

RTB = Rendimiento al vencimiento vigente al momento del pago para los bonos a diez años de plazo.

M = Número de Meses transcurridos desde la fecha de inicio hasta la terminación o rescisión.

F = Costos razonables y demostrables que surjan de la terminación o rescisión del contrato, determinados por el perito independiente incluyendo la penalización.

S = Fondos percibidos o a percibir como consecuencia del cobro de las pólizas de los seguros que el constructor debe mantener de conformidad.

### *B) Rescisión por la Comisión entre la fecha de inicio y la fecha de operación comercial.*

En caso de que la Comisión rescinda el contrato entre la fecha de inicio y la fecha de operación comercial como resultado de un evento de

incumplimiento del constructor, la comisión tendrá el derecho, más no la obligación, de adquirir las obras pagando al constructor un precio de adquisición que será pagado en dólares fuera de México y que resultará de la siguiente fórmula.

$$PA = VO + F - S$$

*C) Rescisión por el constructor entre la fecha de inicio y la fecha de operación comercial.*

En caso que el constructor rescinda el contrato entre la fecha de inicio la fecha de operación comercial como resultado de un evento de incumplimiento de la Comisión tendrá la obligación de adquirir las obras pagando al constructor un precio de adquisición que será pagado en dólares fuera de México:

$$PA = VO + \left[ CP \times (RTB + 0.04) \times \left( \frac{M}{12} \right) \right] + F - S$$

## TARIFA

Los pagos que realizará la Comisión estarán en función de los cargos ofrecidos por el constructor.

- Pagos por Capacidad
  - Cargo Fijo de Capacidad
  - Cargos Fijos de Operación y Mantenimiento
- Pagos por Uso
  - Cargo Variable de Operación y Mantenimiento
  - Cargo Variable por Usos Propios

El Cargo Fijo de Capacidad refleja los pagos que la Comisión tendrá que hacer al constructor por tener capacidad disponible para la Comisión, independientemente del volumen de gas entregado.

El pago asociado al Cargo Fijo de Capacidad se ajustará por una única vez en la fecha de inicio, y posteriormente permanecerá fijo y sin ajustes; sólo se reconocerán variaciones originadas por cambios en el costo de los financiamientos de dicho cargo.

$$PCFC_{am} = CFC_m \left[ 1 + \frac{2.80 \times (T_1 - T_0)}{100} \right]$$

Donde:

$PCFC_{am}$  = Pago por Cargo Fijo de Capacidad (dólares).

$CFC_m$  = Cargo Fijo de Capacidad en el mes "m" (dólares).

$T_1$  = Tasa de los bonos del tesoro de los Estados Unidos de América a diez años de plazo, día de la fecha de inicio, en forma porcentual.

$T_0$  = Tasa de los bonos del tesoro de los Estados Unidos de América a diez años de plazo, día de apertura, en forma porcentual.

El pago por los Cargos Fijos de Operación y Mantenimiento está integrado por el Cargo Fijo de Operación y Mantenimiento denominado en Dólares, pero pagadero en pesos, y por el Cargo Fijo de Operación y Mantenimiento denominado y pagadero en pesos.

Estos conceptos deberán incluir los costos por salario y prestaciones del personal tanto permanente como eventual, que sea necesario para la correcta operación y mantenimiento del sistema, además incluirán los lubricantes, materiales y refacciones no consumibles necesarios, así como las rentas, seguros y otros costos fijos inherentes a la operación del sistema.

$$PCFOM_m = (CFOMmt_m \times INPP_{m/0}) + (CFOMd_m \times USPP_{m/0} \times TC_p) + (CFOMmo_m \times IES_m)$$

Donde:

- PCFOM<sub>m</sub> = Pago por Cargos Fijos de Operación y Mantenimiento (dólares pagaderos en pesos y pesos pagaderos en esa misma moneda).
- CFOMd<sub>m</sub> = Cargos Fijos de Operación y Mantenimiento en dólares pagadero en pesos, para el mes "m".
- CFOMmo<sub>m</sub> = Componente fijo de mano de obra en el Cargo Fijo de Operación y Mantenimiento en pesos, para el mes "m".
- CFOMmt<sub>m</sub> = Componente fijo de materiales y demás conceptos incluidos en el Cargo Fijo de Operación y Mantenimiento en pesos, para el mes "m".
- TC<sub>p</sub> = Tipo de cambio vigente para solventar obligaciones en moneda extranjera en la fecha de pago.
- IES<sub>m</sub> = Índice del incremento acumulado de la mano de obra al mes que se factura "m" y que se calcula:

$$IES_m = ((1 + IS_1) \times (1 + IS_2) \times \dots (1 + IS_n))$$

Donde:

- IS<sub>1</sub> = Primer porcentaje de incremento salarial acordado entre --- y --- para el personal de operación, expresado en forma decimal.
- IS<sub>2</sub> = segundo porcentaje de incremento salarial acordado entre --- y --- para el personal de operación, expresado en forma decimal.
- IS<sub>n</sub> = Último porcentaje de incremento salarial acordado entre --- y --- para el personal de operación, expresado en forma decimal.

INPP<sub>m/0</sub> = Cociente del Índice General del Índice Nacional de Precios Productor sin Petróleo Crudo de Exportación publicado por el Banco

de México, correspondiente al mes que se facture, y el mismo índice correspondiente al mes "0".

USPPI<sub>m/0</sub>= Cociente del Producer Price Index publicado por United States Department of Commerce en el Current Survey of Business correspondiente al mes que se factura, y el mismo índice correspondiente al mes "0".

El Cargo Variable de Operación y Mantenimiento es un concepto que incluirá el costo de los materiales consumibles necesarios para la operación y mantenimiento del sistema, tales como las sustancias químicas y otros materiales que se consumen en proporción al volumen de gas transportado.

$$PCVOM_m = CVOM_m \times (V_m \times INPP_{m/0})$$

Donde:

PCVOM<sub>m</sub>= Pago por Cargo Variable de Operación y Mantenimiento (pesos)  
CVOM<sub>m</sub>= Cargo Variable de Operación y Mantenimiento, denominado en pesos por cada metro cúbico de gas entregado, especificados para el mes "m".

INPP<sub>m/0</sub>= Cociente del Índice General del Índice Nacional de Precios Productor sin Petróleo Crudo de exportación publicado por el Banco de México, correspondiente al mes que se factura, y el mismo índice correspondiente al mes "0".

V<sub>m</sub> = Cantidad de metros cúbicos de gas entregados a la comisión en los puntos de entrega durante el mes "m".

El concepto de Cargo Variable por Usos Propios incluirá el costo por usos propios en que incurra el constructor para cumplir con su obligación de proporcionar el servicio de transportes, incluyendo el gas combustible necesario para que sus equipos operen.

$$PCVUP_m = \frac{F_m}{100} \times P_m \times V_m$$

Donde:

$PCVUP_m$  = Pago por Cargo Variable por Usos Propios.

$F_m$  = Cargo originado por el constructor, expresado en porcentaje, cociente del gas utilizado por el constructor y el gas transportado para el mes "m".

$P_m$  = Precio promedio ponderado por kilocaloría del gas en pesos pro metro cúbico en el mes, aplicando como factor de conversión el promedio del poder calorífico bruto,

$V_m$  = Cantidad de metros cúbicos de gas entregados durante el mes "m".

## 5. OPERACIÓN DEL GASODUCTO.

### 5.1 ESQUEMA OPERATIVO.

El sistema de gasoducto deberá proporcionar un suministro de gas natural desde Cd Pemex a varios puntos de entrega:

- Campeche
- Lerma
- Mérida II
- Mérida III
- Nachicocom
- Valladolid V
- Valladolid CC
- Valladolid II

El sistema está compuesto por tuberías, válvulas de bloqueo, estaciones de medición con equipo auxiliar, unidades compresoras y válvulas de control de presión:

- Una estación única de compresores automatizada situada en km 33.13
- 693.1 km de tubería de 457 mm (NPS 18) a 660 mm (NPS 26)
- Estaciones de medidores de orificio de doble cámara situada en el punto único de suministro de gas en Ciudad Pemex y en Lerma, Nachicocom, Mérida II, Valladolid Vapor, Valladolid Ciclo Combinado, Campeche futura, Mérida III futura y Valladolid II futura.
- Tres válvulas de bloqueo limitadoras de presión en la línea principal accionadas.

- Tres válvulas de bloqueo accionadas por control remota en la línea principal.
- Regulación de presión y protección contra la sobrepresión en las estaciones de entrega para controlar la presión de entrega a CFE.

El sistema propuesto deberá satisfacer o exceder las siguientes características de comportamiento requeridas por CFE.

- Un día en cualquier período de un año continuo (99.7% de disponibilidad).
- Dos días en cualquier período de cinco años continuos (99.89% de disponibilidad).
- Tres días en cualquier período de diez años continuos (99.91% de disponibilidad).
- Cinco días en cualquier período de 26 años continuos (99.95% de disponibilidad).

## ESTACIÓN DE RECEPCIÓN

La estación de recepción incluye el equipo siguiente:

- Una válvula de control de flujo para regular el flujo del gasoducto.
- Un cromatógrafo que analiza la calidad del gas.
- Tres líneas de medición (incluye una operando como reserva), cada una compuesta por un accesorio de orificio de doble cámara.

## FILTRO/SEPARADOR DE LA ESTACIÓN DE COMPRESORES

Dos filtros/separadores van instalados en la estación de compresores. En caso de bloqueo de la unidad en línea, la unidad bloqueada se aísla y la unidad operacional se pone en marcha.

## ESTACIÓN DE COMPRESORES

La estación de compresores está compuesta por 5 unidades de turbinas/compresores (incluye una operando como reserva). Las unidades serán turbinas de gas con compresores centrífugos de 4,100 kW cada uno.

## VÁLVULAS DE LÍNEA MANUALES

El gasoducto esta equipado con 19 válvulas de línea manuales sujetas en la posición abierta.

## VÁLVULAS DE LÍNEA ACCIONADAS

El gasoducto estará equipado también con tres válvulas de línea accionadas situadas a lo largo del gasoducto, y las cuales están sujetas en la posición abierta.

## ESTACIONES LIMITADORAS DE PRESIÓN

Tres estaciones limitadoras de presión están equipadas con una válvula de línea principal accionada, una válvula de control de presión y un monitor que se activará en caso de presión alta corriente abajo, de modo de proteger el gasoducto contra la sobrepresión.

## ESTACIONES DE ENTREGA

Cada estación de entrega esta compuesta por:

- Dos trenes de medidores de orificio de doble cámara
- Dos filtros
- Dos calentadores con válvulas de control de temperatura
- Dos válvulas de control de presión y monitores.

Una falla es la terminación de la habilidad de un artículo de ejecutar su función requerida. Las fallas podrían no ser anunciadas y no detectarse hasta la siguiente prueba o demanda o podrían anunciarse y detectarse en el instante de ocurrencia.

Las condiciones ambientales del gasoducto estarán sujetas a la región semi-tropical, con temperaturas elevadas y gran cantidad de precipitación. Los huracanes y tormentas tropicales son prevaletentes a través de toda la región. La mayoría de los componentes del sistema estarán debajo de la superficie, donde las condiciones climáticas extremas son atenuadas.

Se contará con protección catódica suficiente para asegurar que no ocurra degradación del sistema. Se realizará una observación periódica para asegurar el comportamiento satisfactorio del sistema de protección catódica, y se harán los ajustes necesarios para asegurar la protección continua del sistema.

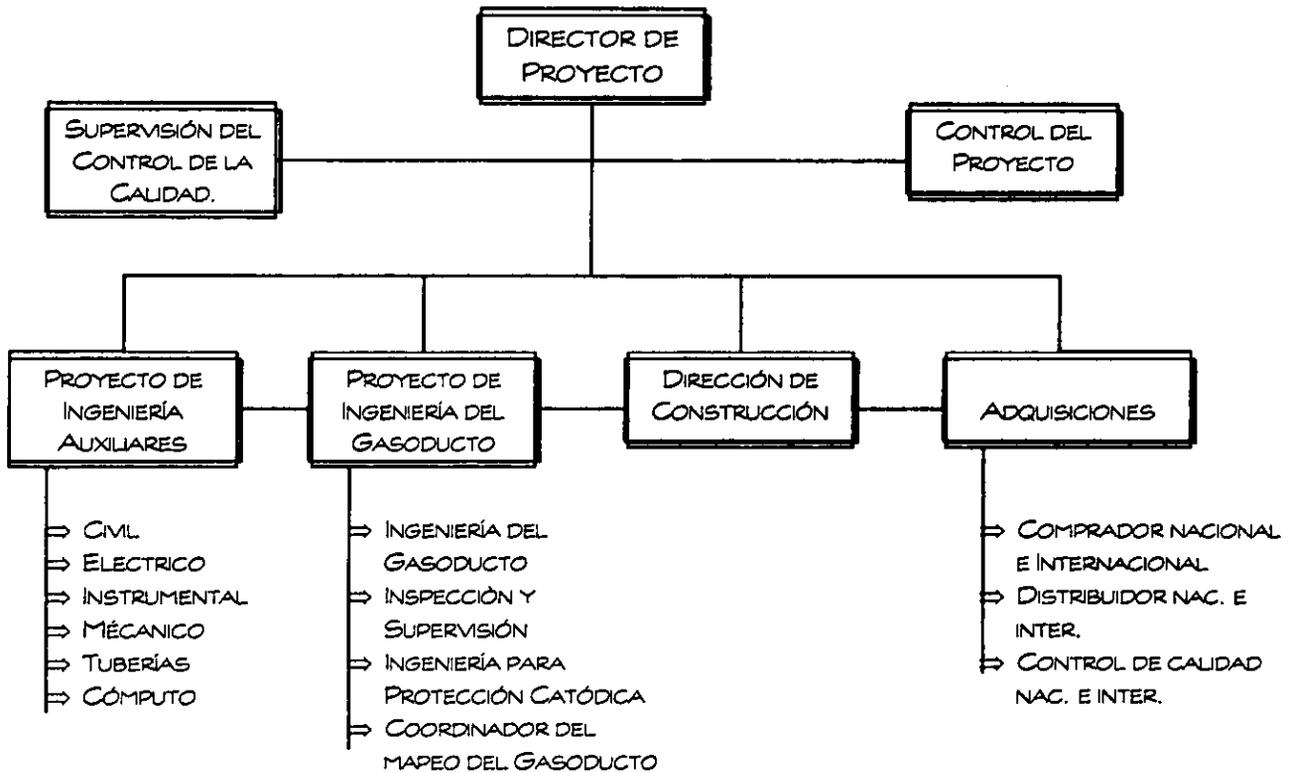
Se verificarán las características de flujo de la tubería cada vez que se sospeche o registre una reducción en el comportamiento. Se contará con limpieza interna con diablos cuando las pruebas indiquen una degradación del comportamiento del flujo, para mantener las condiciones de flujo por encima de los niveles requeridos.

El esquema siguiente muestra un organización elemental se que podrá seguir en la propuesta, enfocándose en el proyecto de ingeniería a la estación de compresores y al diseño del gasoducto.

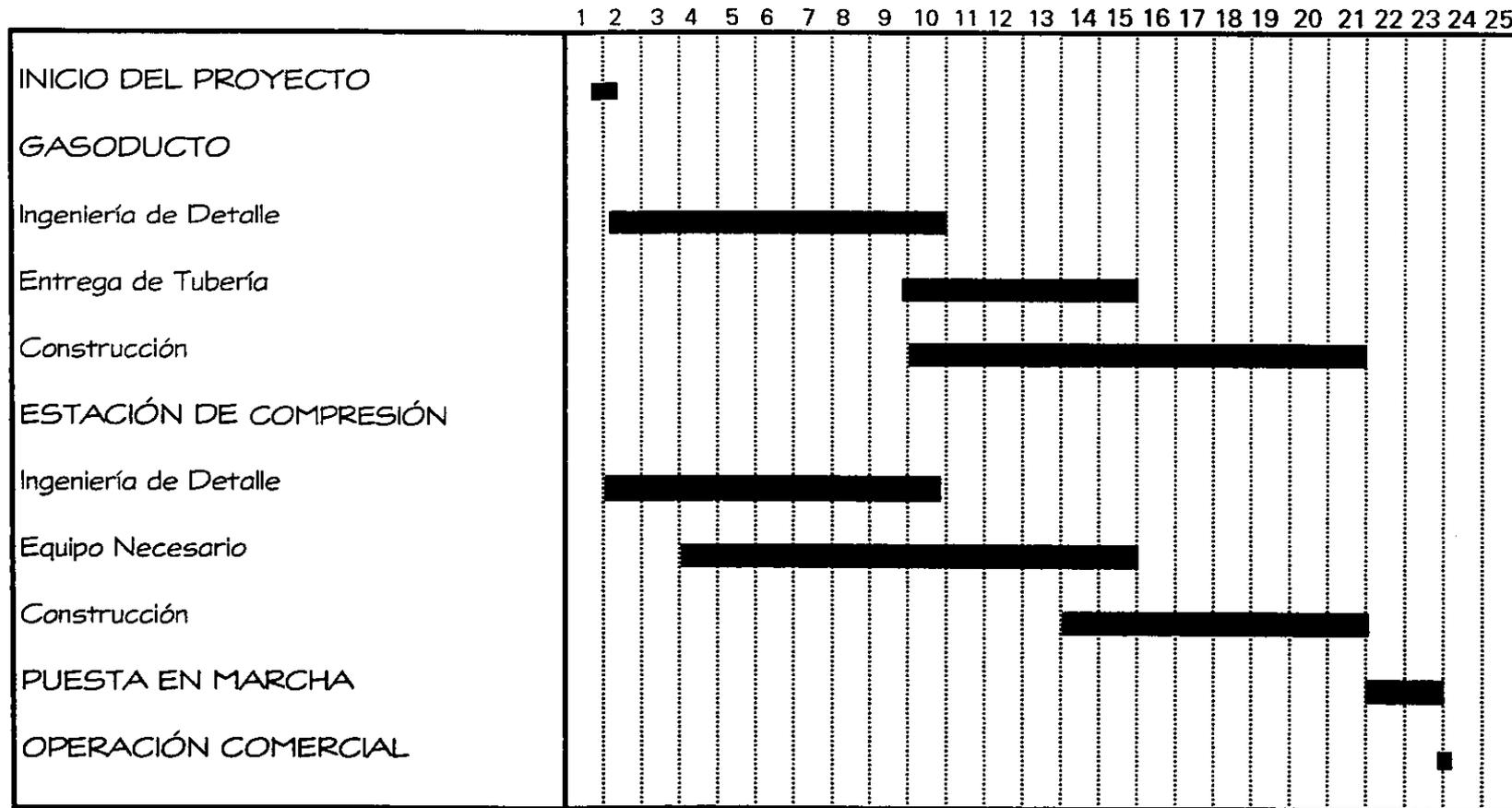
Para poder observar el como se desarrollará la obra, contamos con un avance de obra propuesto sintetizado donde analizamos desde el comienzo del proyecto hasta lo que se llama Proyecto Mano en Llave, lo que nos indica, que se entrega 100% terminada la obra.

Las actividades han sido calculadas con respecto a la experiencia para los trabajos más parecidos que se encontraron tomando en cuenta todas las características similares.

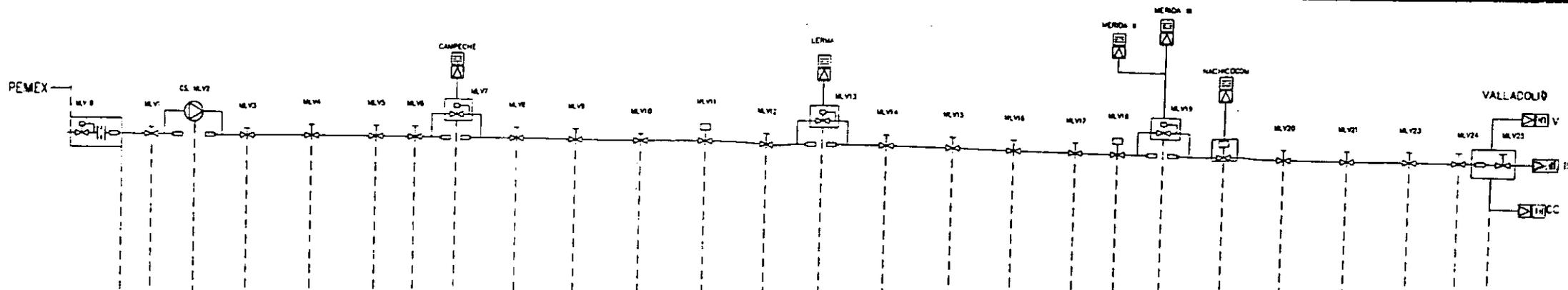
## ORGANIGRAMA



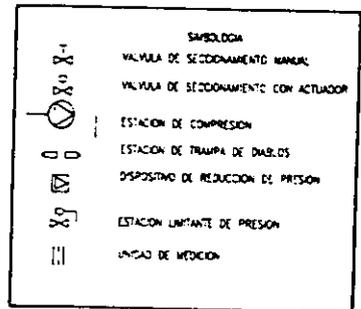
PROGRAMA DE OBRA (MESES)



Se estima que la operación comercial se inicie en septiembre de 1999.



|                        |  |       |                    |       |        |        |        |        |        |        |        |        |   |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
|------------------------|--|-------|--------------------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| K.P.                   | 15.90  | 33.13 | 65.30              | 97.23 | 129.40 | 159.26 | 189.80 | 200.80 | 232.63 | 284.40 | 296.40 | 328.40 | 358.50  | 390.50 | 422.80 | 452.10 | 484.50 | 514.63 | 532.18 | 560.20 | 592.20 | 624.20 | 656.00 | 683.75 | 693.10 |
| C.D. 8"00              | 60 (NPS 24)  |       | 510 mm OD (NPS 24) |       |        |        |        |        |        |        |        |        | 457 mm OD (NPS 18)                                      |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
| TUBERIA DE LINEA       | X65 / X70  |       | API 5L X70 ERW     |       |        |        |        |        |        |        |        |        | X60 ERW   |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
| ESTACION DE COMPRESION | PHASE 1<br>2+1   |       |                    |       |        |        |        |        |        |        |        |        | X60 ERW   |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
| ACUMULADO              | ESTACION DE COMPRESION<br>PHASE 2 (2005) 3+1<br>PHASE 3 (2010) 4+1 |       | JUN 2000           |       |        |        |        |        |        |        |        |        | MAY 2012  |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
| LATERAL                | LONGITUD   |       | 1.81 km            |       |        |        |        |        |        |        |        |        | 1.84 km   |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
|                        |  |       |                    |       |        |        |        |        |        |        |        |        | JAN 2000 JAN 2012                                       |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
|                        |  |       |                    |       |        |        |        |        |        |        |        |        | 6.60 km 17.06 km  |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
|                        |  |       |                    |       |        |        |        |        |        |        |        |        | MAY 19 APRIL 2000<br>MAY 01 JAN 2005<br>MAY 01 DEC 1999 |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |



|                                    |                         |
|------------------------------------|-------------------------|
| <b>GASODUCTO MÉRIDA</b>            |                         |
| DIAGRAMA DE FLUJO<br>DEL GASODUCTO | ARELY ROBLES<br>BOLAÑOS |
|                                    | TESIS PROFESIONAL       |
| FACULTAD DE INGENIERÍA             | UNAM                    |

## 5.2 SERVICIO Y MANTENIMIENTO.

Los procedimientos a ser implementados por el personal de operación incluirán la tubería típica, la operación del compresor y estación de medición, y el mantenimiento preventivo, la búsqueda de fallas y reparaciones, respuesta a emergencias.

La operación del control de gas, contará con personal las 24 horas del día y vigilará las instalaciones de la estación de recepción y controlará la estación de compresores y cada uno de los puntos de entrega.

### PROGRAMA DE MANTENIMIENTO

#### *Vigilancia y planes de respuesta de emergencia*

- |  |                     |
|--|---------------------|
| • Examinar las secciones del plan de respuesta de emergencias  | una vez al año      |
| • Inspección de fugas, incluyendo cercanías de los puntos especiales (camino, carreteras, ríos)                                      | una vez por mes     |
| • Mantenimiento del derecho de vía, para mantener la ruta libre de vegetación y asegurar visibilidad en los marcadores de la tubería | una vez por año     |
| • Pintura de instalaciones sobre la tierra para evitar la corrosión externa  | una vez cada 5 años |

#### *Inspección interna de la tubería*

- |   |                               |
|---|-------------------------------|
| • Inspección con diablo instrumentado                         | una vez cada 10 años          |
| • Inspección de la geometría con diablo de limpieza calibrado | durante la puesta en servicio |

*Protección contra la corrosión.*

- Inspección de monitores internos de corrosión dos veces por año
- Inspeccionar las conexiones eléctricas entre la tubería y otras instalaciones dos veces por año
- Inspeccionar las juntas de aislamiento una vez por año

*Inspección y mantenimiento de la VLP y las instalaciones de limpiar con diablos*

- Mantenimiento de válvulas. Inspección de la válvula, y del actuador, lubricación y operación parcial una vez por año
- Prueba de las válvulas de control remoto y prueba de la fuente de suministro eléctrico de reserva dos veces por año
- Instalaciones de limpieza con diablo: inspección de las trampas de lanzamiento y de recepción de los diablos de limpieza y dar servicio a la válvula una vez por año

*Instalaciones de reducción de presión*

- Inspección y mantenimiento de las válvulas de seguridad y de instrumentación una vez por año
- Puntos de entrega y estación de recepción
- Cromatógrafo e integrador, calibración de gas una vez por mes
- Calibración de transmisores una vez por semana
- Inspección y mantenimiento de los reguladores de presión, de los controladores y de las válvulas de seguridad una vez por año
- Inspección de filtros de gas una vez por año
- Inspección de calentadores de gas y del sistema de una vez por

calefacción

mes

- Prueba y confirmación de los datos de transmisión

una vez por  
mes

### *Estación de compresores*

- Mantenimiento de rutina, patrullar la planta e inspeccionar las instalaciones
- Análisis de aceite
- Pintura de las instalaciones sobre tierra

dos veces por  
día

dos veces por  
año

una vez cada 5  
años

### *Instalaciones de Filtración y separación*

- Inspección y mantenimiento de los filtros de gas y de separadores
- Inspección visual, calibración y prueba de cada uno de los transmisores del compresor y de la turbina

una vez por  
año

una vez por  
año

### *Suministro de potencia y aire comprimido de reserva*

- Limpiar mantener e inspeccionar los estantes de baterías
- Prueba del suministro ininterrumpido de energía
- Inspeccionar y mantener el compresor de aire y secadores de aire
- Inspeccionar todos los tanques y las instalaciones sobre tierra para detectar corrosión

una vez por  
año

dos veces por  
año

dos veces por  
año

una vez por  
año

### *Instalaciones de seguridad*

- Arrancar el generador auxiliar

una vez por  
semana

- |   |                    |
|---|--------------------|
| • Arrancar la bomba contra incendios  | una vez por semana |
| • Control de la regulación del compresor, prueba y calibración de la válvula de seguridad | una vez por año    |

## COMPORTAMIENTO DE LOS TURBO-COMPRESORES Y LA ESTACIÓN DE COMPRESIÓN

El comportamiento tendrá que determinar los siguientes objetivos primarios.

- Las características actuales de carga de altura o de presión en la boca de la succión del compresor y en la descarga del mismo para los diferentes volúmenes de flujo manejados.
- Las vibraciones mecánicas del eje de los compresores centrifugas.
- Los límites de carga de cada turbina de gas.
- Las vibraciones mecánicas del eje de las turbinas de gas.
- Eficiencia total de los compresores.
- Eficiencia total de las turbinas.
- Vibraciones mecánicas de la carcaza de los compresores.
- Vibraciones mecánicas de la carcaza de las turbinas.
- Medición de niveles de ruido de la instalación.

## PRUEBA DEL FUNCIONAMIENTO DE LA TUBERÍA

Las instalaciones entregarán los volúmenes de gas indicados para el caso de diseño de capacidad máxima de la tubería. Antes de comenzar a servir, la estación de compresores y cada estación de medición debe someterse a una inspección y calibración.

Una prueba que deberá realizarse es midiendo electrónicamente los volúmenes de gas que entran u que salen de las instalaciones de la tubería. La temperatura, presión, calidad del gas y la presión diferencial en cada una de las estaciones de medición y en la estación de compresores debe registrarse electrónicamente.

El sistema de tubería debe considerarse estabilizado cuando las presiones medidas en la estación de compresores varíen de más o menos ((5) libras por pulgadas cuadradas durante un periodo de una hora, pudiéndose requerir varias horas para estabilizar el sistema de la tubería.

## 6. CONCLUSIONES.

En el presente trabajo establecí e identifiqué la problemática de abastecimiento de energía eléctrica cuya demanda se encuentra condicionada a diversos factores. Siendo el principal objetivo de mi trabajo conciliar la tecnología con el menor perjuicio y costo posible, mi propuesta sugiere una forma viable a nivel económico y con el menor impacto ambiental y social.

El abastecimiento de energía eléctrica a través de un complejo termoeléctrico cuya materia prima o combustible sería el gas natural, que nos ofrece las características de ser limpio y más económico presentándose como una alternativa que otorga más beneficios que los utilizados actualmente por las plantas de la CFE que consumen combustóleo y diesel con altos contenidos de azufre.

Para determinar la solución al problema, establecí una alternativa viable, segura y económica para la prestación del servicio en forma eficaz y eficiente, como medios para comprobar la factibilidad de la realización y propuesta a:

**ABASTECIMIENTO:** Para suministrar a las centrales termoeléctricas con gas natural se requerirá una fuente con capacidad para abastecer la demanda futura en la Península que considere en base a la investigación realizada de aproximadamente 10.41 millones de pies cúbicos diarios que podría ser suministrada por Cd. Pemex, Tabasco, al ser esta una fuente cercana y con el combustible necesario requerido.

**TRANSPORTACIÓN:** La forma adecuada para transportar el combustible hasta la última central termoeléctrica de Valladolid lo sería un ducto de 693.1 kilómetros de longitud cuyo diseño deberá tomar en cuenta y estar basado en estudios topográficos y de mecánica de suelos que podrá ser apoyado paralelamente la ruta al gasoducto de Cd Pemex-Mérida por un tramo de 532 Kilómetros aprovechándose así el derecho de vía existente en el gasoducto ya construido, lo que traería aparejado un beneficio económico aparente.

He propuesto que para evitar cualquier tipo de vandalismo y dar la protección a los tubos y conexiones en forma permanente, que el transporte de gas sea a través de un gasoducto subterráneo ya que por este medio la afectación de la zona sería menor, y el impacto social sería reducido, ya que solo se provocaría durante el período de tiempo de su construcción y en caso de presentarse alguna falla mayor en la línea de conducción.

El no enfatizar la importancia ambiental que se le da a este gasoducto, me llevó a poder contemplar la alternativa de construirlo superficialmente ocasionándonos así la reducción de los costos de la excavación de las zanjas, pero paralelamente incrementaríamos otros factores como el de la seguridad alrededor de la línea de conducción, por ejemplo, para evitar la corrosividad que es la destrucción del metal por la acción electroquímica de ciertas sustancias, el recubrimiento deberá ser de un material que al adherirse a las superficie externa del tubo la proteja contra el intemperismo de medio ambiente y su mantenimiento constante acarrearía un costo muy significativo siendo el recubrimiento diferente en el subterráneo..

La diversidad de la ingeniería logra presentar varias alternativas válidas para enfrentar a una necesidad a satisfacer, en estos tiempos la importancia es no solo ofrecer obras de buena calidad, no solo en materiales y mano de obra, si no, encontrar un equilibrio positivo con un sentido social y ambiental, cuyos beneficios sean tanto para el constructor como para los usuarios.

El gasoducto tendrá un sistema con equipo e instalaciones para medición, recepción, distribución, entrega, control de presión, protección catódica, prevención de incendios, mantenimiento y un centro de operaciones de control.

En el proyecto propongo que una sola estación de compresores, ya que contando con menos infraestructura exterior se logra dar el mismo servicio y también le doy tiempo a la estación de reaccionar a los cambios de suministro que se llegarán a presentar, además lograríamos reducir componentes mecánicos y emisiones de CO<sub>2</sub>, siendo este el bióxido de carbono una impureza de gas natural, porque en presencia del agua produce la corrosión en los sistemas de tubería y podría dañarla hasta dejarla inservible.

Al igual que en la estación de compresores, la estación de recepción será única y estará en Ciudad Pemex, que logrará dar el suministro requerido, facilitándonos la observación de la calidad del gas, contando con una medición electrónica con la supervisión del centro de operaciones de control y ayudándonos a controlar el flujo en base a las válvulas ya sea de control remoto o manuales.

Las estaciones de entrega serán cada una de las enumeradas a lo largo del trabajo, tomando en cuenta la demanda que se generará por las centrales que están proyectadas para un futuro, cada una de ellas contará con la supervisión del centro de control, la medición electrónica del gas, filtración, protección contra la sobrepresión y un paro de emergencia al tener un funcionamiento fuera de lo normal.

La planeación acerca del mantenimiento del gasoducto se enfoca tanto a dar el servicio a cada sistema ya sea cuando se requiera por alguna falla o por el tiempo determinado para que los componentes de cada estación o de la misma tubería se mantengan en óptimas condiciones llegando a dar un servicio sin deficiencias.

El centro de operaciones de control es un proyecto integral de automatización, con lo que se pretende controlar centralizadamente el flujo de gas a través del gasoducto, en todas sus partes desde la recepción hasta la entrega a cada termoeléctrica.

Esta centralización nos ayuda a operar en las estaciones de compresión, recepción, entrega y medición el menor personal, además de brindarnos una continua observación en los sistemas registrándose así todo en este centro y pretendiéndola manejar de una manera óptima y dando alarma cuando se presenten situaciones anormales en el flujo, como variaciones en la temperatura, en el suministro, la presión, etc..

## BIBLIOGRAFÍAS.

- ☞ ANUARIO ESTADÍSTICO DEL ESTADO DE CAMPECHE, Instituto Nacional de Estadísticas, Geografía e Informática, Edición 1997.
- ☞ ANUARIO ESTADÍSTICO DEL ESTADO DE YUCATÁN, Instituto Nacional de Estadísticas, Geografía e Informática, Edición 1997.
- ☞ ANUARIO ESTADÍSTICO DEL ESTADO DE TABASCO, Instituto Nacional de Estadísticas, Geografía e Informática, Edición 1997.
- ☞ EL SECTOR ENERGÉTICO EN MÉXICO, Instituto Nacional de Estadísticas, Geografía e Informática, Edición 1996.
- ☞ ALTERNATIVAS ENERGÉTICAS, Antonio Alonso Concheiro, Luis Rodríguez Viqueira, Fondo de Cultura Económico S.A. de C. V., México 1985.
- ☞ TURBOMÁQUINAS DE FLUIDOS COMPRESIBLES, Manuel Polo Encinas, Editorial Limusa, Primera Edición , México 1984.
- ☞ THEORY AND DESING OF STEAM AND GAS TURBINE, Jonh F Lee, Editorial, McGraw-Hill, México 1954.
- ☞ MECÁNICA DE LOS FLUIDOS, Victor L. Streeter, E. Benjamin Wylie, Editorial McGraw-Hill, Tercera edición, México 1994.
- ☞ PRODUCCIÓN DE ENERGÍA POR EL VAPOR DE AGUA, EL AIRE Y LOS GASES, WH Severns, HT Degler, JC Mides, Editorial Revert Mexicana, México 1976.
- ☞ CORROSION AND DEPOSITS FROM COMBUSTION GASES ABSTRACTS AND INDEX, Jerrold E. Rodway, Hemisphere Publishing Corporation, North America 1985.

- ☞ PLANTAS GENERADORAS Y LOCALIDADES CON SERVICIO POR CFE, Ing Adolfo Franco Pedroza, Facultad de Ingeniería UNAM.
- ☞ CENTRALES ELÉCTRICAS, Frederick T. Morse, Compañía Editorial Continental, Tercera Edición , México 1980.
- ☞ MECÁNICA DE FLUIDOS, Termodinámica de las turbomáquinas, Dixon, Editorial Dossat, S.A., México.
- ☞ ANÁLISIS TERMODINÁMICO DE PLANTAS ELÉCTRICAS, R.W. Haywood, Editorial Limusa, Primera edición , México 1986.
- ☞ ELECTRIC POWER STATIONS, TH Carr, Vol 2, Cuarta edición, G & J Kitcat Ltd, London 1961.
- ☞ CENTRALES ELÉCTRICAS, E. Santo Potess, Editorial Gustavo Gili, S.A., México 1991.
- ☞ ELEMENTOS DE CENTRALES ELÉCTRICAS TOMO I HIDROELÉCTRICAS, TERMOELÉCTRICAS Y NUCLEARES, Gilberto Enriquez Harper, Editorial Limusa, México 1995.
- ☞ ELEMENTOS DE CENTRALES ELÉCTRICAS TOMO II GENERADORES EXCITATRICES, GOBERNADORES Y SUBESTACIONES, Gilberto Enriquez Harper, Editorial Limusa, México 1995.









**Campeche región**

| Hecto | Año  |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|       | 2000 | 2001 | 2002 | 2003 | 2004 | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | 2010 | 2011 | 2012 |
| 1     | 1.34 | 1.34 | 1.34 | 1.34 | 1.34 | 1.34 | 1.34 | 1.34 | 1.34 | 1.34 | 1.84 | 1.84 | 1.84 |
| 2     | 1.34 | 1.34 | 1.34 | 1.34 | 1.34 | 1.34 | 1.34 | 1.34 | 1.34 | 1.34 | 1.84 | 1.84 | 1.84 |
| 3     | 1.34 | 1.34 | 1.34 | 1.34 | 1.34 | 1.34 | 1.34 | 1.34 | 1.34 | 1.34 | 1.84 | 1.84 | 1.84 |
| 4     | 1.34 | 1.34 | 1.34 | 1.34 | 1.34 | 1.34 | 1.34 | 1.34 | 1.34 | 1.34 | 1.84 | 1.84 | 1.84 |
| 5     | 1.34 | 1.34 | 1.34 | 1.34 | 1.34 | 1.34 | 1.34 | 1.34 | 1.34 | 1.34 | 1.84 | 1.84 | 1.84 |
| 6     | 1.34 | 1.34 | 1.34 | 1.34 | 1.34 | 1.34 | 1.34 | 1.34 | 1.34 | 1.34 | 1.84 | 1.84 | 1.84 |
| 7     | 1.34 | 1.34 | 1.34 | 1.34 | 1.34 | 1.34 | 1.34 | 1.34 | 1.34 | 1.34 | 1.84 | 1.84 | 1.84 |
| 8     | 1.34 | 1.34 | 1.34 | 1.34 | 1.34 | 1.34 | 1.34 | 1.34 | 1.34 | 1.34 | 1.84 | 1.84 | 1.84 |
| 9     | 1.34 | 1.34 | 1.34 | 1.34 | 1.34 | 1.34 | 1.34 | 1.34 | 1.34 | 1.34 | 1.84 | 1.84 | 1.84 |
| 10    | 1.34 | 1.34 | 1.34 | 1.34 | 1.34 | 1.34 | 1.34 | 1.34 | 1.34 | 1.34 | 1.84 | 1.84 | 1.84 |
| 11    | 1.34 | 1.34 | 1.34 | 1.34 | 1.34 | 1.34 | 1.34 | 1.34 | 1.34 | 1.34 | 1.84 | 1.84 | 1.84 |
| 12    | 1.34 | 1.34 | 1.34 | 1.34 | 1.34 | 1.34 | 1.34 | 1.34 | 1.34 | 1.34 | 1.84 | 1.84 | 1.84 |
| 13    | 1.34 | 1.34 | 1.34 | 1.34 | 1.34 | 1.34 | 1.34 | 1.34 | 1.34 | 1.34 | 1.84 | 1.84 | 1.84 |
| 14    | 1.34 | 1.34 | 1.34 | 1.34 | 1.34 | 1.34 | 1.34 | 1.34 | 1.34 | 1.34 | 1.84 | 1.84 | 1.84 |
| 16    | 1.34 | 1.34 | 1.34 | 1.34 | 1.34 | 1.34 | 1.34 | 1.34 | 1.34 | 1.34 | 1.84 | 1.84 | 1.84 |
| 17    | 1.34 | 1.34 | 1.34 | 1.34 | 1.34 | 1.34 | 1.34 | 1.34 | 1.34 | 1.34 | 1.84 | 1.84 | 1.84 |
| 18    | 1.34 | 1.34 | 1.34 | 1.34 | 1.34 | 1.34 | 1.34 | 1.34 | 1.34 | 1.34 | 1.84 | 1.84 | 2.25 |
| 19    | 1.34 | 1.34 | 1.34 | 1.34 | 1.34 | 1.34 | 1.34 | 1.34 | 1.34 | 1.34 | 2.58 | 2.58 | 2.58 |
| 20    | 1.34 | 1.34 | 1.34 | 1.34 | 1.34 | 1.34 | 1.34 | 1.34 | 1.34 | 1.34 | 2.58 | 2.58 | 2.58 |
| 21    | 1.34 | 1.34 | 1.34 | 1.34 | 1.34 | 1.34 | 1.34 | 1.34 | 1.34 | 1.34 | 1.97 | 1.97 | 2.58 |
| 22    | 1.34 | 1.34 | 1.34 | 1.34 | 1.34 | 1.34 | 1.34 | 1.34 | 1.34 | 1.34 | 1.84 | 1.84 | 2.58 |
| 23    | 1.34 | 1.34 | 1.34 | 1.34 | 1.34 | 1.34 | 1.34 | 1.34 | 1.34 | 1.34 | 1.84 | 1.84 | 1.84 |
| 24    | 1.34 | 1.34 | 1.34 | 1.34 | 1.34 | 1.34 | 1.34 | 1.34 | 1.34 | 1.34 | 1.84 | 1.84 | 1.84 |
|       | 1.34 | 1.34 | 1.34 | 1.34 | 1.34 | 1.34 | 1.34 | 1.34 | 1.34 | 1.34 | 1.91 | 1.91 | 1.98 |

**Mérida región**

| Hecto | Año  |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|       | 2000 | 2001 | 2002 | 2003 | 2004 | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | 2010 | 2011 | 2012 |
| 1     | 3.15 | 3.15 | 3.15 | 3.15 | 3.15 | 3.15 | 3.15 | 3.15 | 3.15 | 3.15 | 3.15 | 3.34 | 3.34 |
| 2     | 3.15 | 3.15 | 3.15 | 3.15 | 3.15 | 3.15 | 3.15 | 3.15 | 3.15 | 3.15 | 3.15 | 3.34 | 3.34 |
| 3     | 3.15 | 3.15 | 3.15 | 3.15 | 3.15 | 3.15 | 3.15 | 3.15 | 3.15 | 3.15 | 3.15 | 3.34 | 3.34 |
| 4     | 3.15 | 3.15 | 3.15 | 3.15 | 3.15 | 3.15 | 3.15 | 3.15 | 3.15 | 3.15 | 3.15 | 3.34 | 3.34 |
| 5     | 3.15 | 3.15 | 3.15 | 3.15 | 3.15 | 3.15 | 3.15 | 3.15 | 3.15 | 3.15 | 3.15 | 3.34 | 3.34 |
| 6     | 3.15 | 3.15 | 3.15 | 3.15 | 3.15 | 3.15 | 3.15 | 3.15 | 3.15 | 3.15 | 3.15 | 3.34 | 3.34 |
| 7     | 3.15 | 3.15 | 3.15 | 3.15 | 3.15 | 3.15 | 3.15 | 3.15 | 3.15 | 3.15 | 3.15 | 3.34 | 3.34 |
| 8     | 3.15 | 3.15 | 3.15 | 3.15 | 3.15 | 3.15 | 3.15 | 3.15 | 3.15 | 3.15 | 3.15 | 3.34 | 3.34 |
| 9     | 3.15 | 3.15 | 3.15 | 3.15 | 3.15 | 3.15 | 3.15 | 3.15 | 3.15 | 3.15 | 3.15 | 3.34 | 3.34 |
| 10    | 3.15 | 3.15 | 3.15 | 3.15 | 3.15 | 3.15 | 3.15 | 3.15 | 3.15 | 3.15 | 3.15 | 3.34 | 3.50 |
| 11    | 3.15 | 3.15 | 3.15 | 3.15 | 3.15 | 3.15 | 3.15 | 3.15 | 3.15 | 3.15 | 3.15 | 3.34 | 4.05 |
| 12    | 3.15 | 3.15 | 3.15 | 3.15 | 3.15 | 3.15 | 3.15 | 3.15 | 3.15 | 3.15 | 3.15 | 3.34 | 3.66 |
| 13    | 3.15 | 3.15 | 3.15 | 3.15 | 3.15 | 3.15 | 3.15 | 3.15 | 3.15 | 3.15 | 3.15 | 3.34 | 3.84 |
| 14    | 3.15 | 3.15 | 3.15 | 3.15 | 3.15 | 3.15 | 3.15 | 3.15 | 3.15 | 3.15 | 3.15 | 3.34 | 3.97 |
| 15    | 3.15 | 3.15 | 3.15 | 3.15 | 3.15 | 3.15 | 3.15 | 3.15 | 3.15 | 3.15 | 3.15 | 3.34 | 3.34 |
| 16    | 3.15 | 3.15 | 3.15 | 3.15 | 3.15 | 3.15 | 3.15 | 3.15 | 3.15 | 3.15 | 3.15 | 3.34 | 3.79 |
| 17    | 3.15 | 3.15 | 3.15 | 3.15 | 3.15 | 3.15 | 3.15 | 3.15 | 3.15 | 3.15 | 3.15 | 3.34 | 3.34 |
| 18    | 3.15 | 3.15 | 3.15 | 3.15 | 3.15 | 3.15 | 3.15 | 3.15 | 3.15 | 3.15 | 3.23 | 3.42 | 4.13 |
| 19    | 3.15 | 3.15 | 3.15 | 3.15 | 3.15 | 3.15 | 3.15 | 3.15 | 3.89 | 3.94 | 3.94 | 4.17 | 4.36 |
| 20    | 3.15 | 3.15 | 3.15 | 3.15 | 3.15 | 3.15 | 3.15 | 3.15 | 3.94 | 3.94 | 3.94 | 4.17 | 4.40 |
| 21    | 3.15 | 3.15 | 3.15 | 3.15 | 3.15 | 3.15 | 3.15 | 3.15 | 3.32 | 3.94 | 3.94 | 4.17 | 4.40 |
| 22    | 3.15 | 3.15 | 3.15 | 3.15 | 3.15 | 3.15 | 3.15 | 3.15 | 3.15 | 3.37 | 3.66 | 3.89 | 4.35 |
| 23    | 3.15 | 3.15 | 3.15 | 3.15 | 3.15 | 3.15 | 3.15 | 3.15 | 3.15 | 3.15 | 3.15 | 3.34 | 4.02 |
| 24    | 3.15 | 3.15 | 3.15 | 3.15 | 3.15 | 3.15 | 3.15 | 3.15 | 3.15 | 3.15 | 3.15 | 3.34 | 3.34 |
|       | 3.15 | 3.15 | 3.15 | 3.15 | 3.15 | 3.15 | 3.15 | 3.15 | 3.22 | 3.28 | 3.28 | 3.47 | 3.70 |

**Valladolid región**

| Hoja | 2000 | 2001 | 2002 | 2003 | 2004 | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | 2010 | 2011 | 2012 |
|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 1    | 1.72 | 7.72 | 1.72 | 1.72 | 1.72 | 3.06 | 3.06 | 3.06 | 3.06 | 3.06 | 3.06 | 3.06 | 3.06 |
| 2    | 1.72 | 7.72 | 1.72 | 1.72 | 1.72 | 3.06 | 3.06 | 3.06 | 3.06 | 3.06 | 3.06 | 3.06 | 3.06 |
| 3    | 1.72 | 7.72 | 1.72 | 1.72 | 1.72 | 3.06 | 3.06 | 3.06 | 3.06 | 3.06 | 3.06 | 3.06 | 3.06 |
| 4    | 1.72 | 7.72 | 1.72 | 1.72 | 1.72 | 3.06 | 3.06 | 3.06 | 3.06 | 3.06 | 3.06 | 3.06 | 3.06 |
| 5    | 1.72 | 7.72 | 1.72 | 1.72 | 1.72 | 3.06 | 3.06 | 3.06 | 3.06 | 3.06 | 3.06 | 3.06 | 3.06 |
| 6    | 1.72 | 7.72 | 1.72 | 1.72 | 1.72 | 3.06 | 3.06 | 3.06 | 3.06 | 3.06 | 3.06 | 3.06 | 3.06 |
| 7    | 1.72 | 7.72 | 1.72 | 1.72 | 1.72 | 3.06 | 3.06 | 3.06 | 3.06 | 3.06 | 3.06 | 3.06 | 3.06 |
| 8    | 1.72 | 7.72 | 1.72 | 1.72 | 1.72 | 3.06 | 3.06 | 3.06 | 3.06 | 3.06 | 3.06 | 3.06 | 3.06 |
| 9    | 1.72 | 7.72 | 1.72 | 1.72 | 1.72 | 3.06 | 3.06 | 3.06 | 3.06 | 3.06 | 3.06 | 3.06 | 3.06 |
| 10   | 1.72 | 7.72 | 1.72 | 1.72 | 1.72 | 3.06 | 3.06 | 3.06 | 3.06 | 3.06 | 3.06 | 3.06 | 3.06 |
| 11   | 1.72 | 7.72 | 1.72 | 1.72 | 1.72 | 3.06 | 3.06 | 3.06 | 3.06 | 3.06 | 3.06 | 3.06 | 3.06 |
| 12   | 1.72 | 7.72 | 1.72 | 1.72 | 1.72 | 3.06 | 3.06 | 3.06 | 3.06 | 3.06 | 3.06 | 3.06 | 3.06 |
| 13   | 1.72 | 7.72 | 1.72 | 1.72 | 1.72 | 3.06 | 3.06 | 3.06 | 3.06 | 3.06 | 3.06 | 3.06 | 3.06 |
| 14   | 1.72 | 7.72 | 1.72 | 1.72 | 1.72 | 3.06 | 3.06 | 3.06 | 3.06 | 3.06 | 3.06 | 3.06 | 3.06 |
| 15   | 1.72 | 7.72 | 1.72 | 1.72 | 1.72 | 3.06 | 3.06 | 3.06 | 3.06 | 3.06 | 3.06 | 3.06 | 3.06 |
| 16   | 1.72 | 7.72 | 1.72 | 1.72 | 1.72 | 3.06 | 3.06 | 3.06 | 3.06 | 3.06 | 3.06 | 3.06 | 3.06 |
| 17   | 1.72 | 7.72 | 1.72 | 1.72 | 1.72 | 3.06 | 3.06 | 3.06 | 3.06 | 3.06 | 3.06 | 3.06 | 3.06 |
| 18   | 1.72 | 7.72 | 1.72 | 1.72 | 1.72 | 3.06 | 3.06 | 3.06 | 3.06 | 3.06 | 3.06 | 3.06 | 3.42 |
| 19   | 1.72 | 7.72 | 1.72 | 1.72 | 1.72 | 3.06 | 3.06 | 3.06 | 3.06 | 3.42 | 3.42 | 3.42 | 3.42 |
| 20   | 1.72 | 7.72 | 1.72 | 1.72 | 1.72 | 3.06 | 3.06 | 3.06 | 3.42 | 3.42 | 3.42 | 3.42 | 3.42 |
| 21   | 1.72 | 7.72 | 1.72 | 1.72 | 1.72 | 3.06 | 3.06 | 3.06 | 3.06 | 3.21 | 3.42 | 3.42 | 3.42 |
| 22   | 1.72 | 7.72 | 1.72 | 1.72 | 1.72 | 3.06 | 3.06 | 3.06 | 3.06 | 3.06 | 3.06 | 3.06 | 3.42 |
| 23   | 1.72 | 7.72 | 1.72 | 1.72 | 1.72 | 3.06 | 3.06 | 3.06 | 3.06 | 3.06 | 3.06 | 3.06 | 3.06 |
| 24   | 1.72 | 7.72 | 1.72 | 1.72 | 1.72 | 3.06 | 3.06 | 3.06 | 3.06 | 3.06 | 3.06 | 3.06 | 3.06 |
|      | 1.72 | 7.72 | 1.72 | 1.72 | 1.72 | 3.06 | 3.06 | 3.06 | 3.07 | 3.09 | 3.10 | 3.10 | 3.13 |